

# 慢性颈痛肌肉功能障碍机制及影响因素的研究进展

卜寒梅<sup>1</sup>, 王旭<sup>1</sup>, 冯天笑<sup>1</sup>, 冯敏山<sup>1,2</sup>, 王平<sup>3</sup>, 朱立国<sup>1,2</sup>, 魏戌<sup>1,2</sup>

【关键词】慢性颈痛;肌肉功能障碍;机制;影响因素

【中图分类号】R49;R681 【DOI】10.3870/zgkf.2024.06.011

慢性颈痛是指发生在头部、肩胛区上缘、锁骨上缘外侧区以及胸骨上切迹所组成区域的疼痛,且疼痛时间持续3个月以上<sup>[1]</sup>。近年来,由于人们生活和生活方式的改变,长期低头伏案及使用电子产品,造成颈痛的患病率不断上升<sup>[2]</sup>。流行病学调查显示,颈痛已成为全球第4大致残原因,其具有病情易反复,病程较长的特点,颈痛不仅会影响患者身体与心理健康、生活与工作质量,还会增加医疗支出及社会经济负担<sup>[3]</sup>。

颈椎的稳定性与慢性颈痛的发生及发展关系密切。颈椎的稳定性一方面体现在椎体、椎间盘、小关节及周围相连附属韧带等在内的内源性静力平衡;另一方面体现在颈椎周围附着的肌肉软组织在内的外源性动力平衡。静力性平衡主要承载脊柱屈伸、侧弯、扭转、压缩、剪切等负荷,以维持脊柱稳定性;动力性平衡通过颈部肌群之间协同与拮抗作用带动关节与骨结构进行不同自由度的活动<sup>[4]</sup>。有研究表明,骨连结系统对颈椎的力学稳定性仅贡献约20%,其余约80%是由颈部周围的肌肉软组织提供<sup>[5]</sup>。颈部肌肉是颈椎活动的原始动力,以肌肉功能障碍为主的动力性平衡失调是慢性颈痛患者颈椎失稳的前提,也是后期颈椎椎体、椎间盘、小关节及周围韧带等结构退变的诱发因素<sup>[6]</sup>。长期的颈部肌肉功能障碍也会使慢性颈痛患者的疼痛症状加剧,二者形成恶性循环<sup>[7]</sup>。可见,颈部肌肉功能障碍不仅会加重颈椎失稳,而且还会造成病情的发展及恶化。因此,探究慢性颈痛肌肉功能障碍机制及影响因素对确定颈椎病理生理改变、指导临床治疗和康复训练均具有重要意义。基于此,本文综述如下。

## 1 肌肉功能障碍的机制

### 1.1 运动功能障碍 慢性颈痛颈部运动功能障碍主

基金项目:北京市科技新星计划(Z191100001119025);北京市科技新星计划交叉合作项目(20220484228)

收稿日期:2023-04-19

作者单位:1. 中国中医科学院望京医院,北京100102;2. 中医正骨技术北京市重点实验室,北京100007;3. 天津中医药大学第一附属医院,天津300381

作者简介:卜寒梅(1993-),女,博士,主要从事脊柱相关疾病的临床研究。

通讯作者:魏戌,weixu.007@163.com

要表现在肌力、耐力、稳定性、运动速度、运动范围以及活动特异性的降低。颈椎所有轴向运动的肌力下降是颈痛最常见的表现,颈痛患者的颈部肌力相比于无症状者可以下降约13%~90%<sup>[8]</sup>。颈痛患者的屈肌和伸肌在短时间内强烈收缩后的耐力均较差,由于颈部肌肉耐力的缺失,颈痛患者在保持直立坐姿的稳定性能力也会降低,在长时间坐位时会倾向于保持下颌前移的状态<sup>[9]</sup>。颈痛会导致颈椎节段性及区域性运动范围受限,伴随速度、加速度及运动流畅性的降低。与无症状者相比,颈痛患者在颈部肌肉协调性方面出现明显变化,即颈部肌肉活动特异性降低,颈部屈肌和伸肌协同活动增加,并且这种表现与颈部肌力呈负相关,与疼痛程度和感知障碍呈正相关<sup>[10]</sup>。

1.2 深层肌肉激活下降 颈部深层肌肉激活能力下降,不足以维持颈椎稳定性是造成慢性颈痛的重要因素之一,提高颈深肌的激活能力有利于颈部运动控制的重组及正常化<sup>[11]</sup>。健康人在不同渐进式压力阶段的颅颈屈曲试验(cranio cervical flexion test, CCFT)中均能达到并保持颈深肌的等长收缩,不需要任何代偿性使用颈浅屈肌。相比于健康人,颈痛患者CCFT显示颈浅屈肌激活增加,且颈深屈肌激活与颈部疼痛程度有关,这可能是颈深屈肌受损的代偿性表现,说明颈痛患者的颈部屈肌协同作用紊乱<sup>[12]</sup>。肌肉功能磁共振成像可以根据颈椎活动时颈部肌肉的水分子T2弛豫时间的急性增强情况定量评估颈深肌的激活方式。Cagnie等<sup>[13]</sup>运用该技术研究发现疼痛会抑制颈椎等长伸展运动时颈深肌肉的激活,而颈浅肌肉的激活会代偿性增强。

1.3 屈曲-放松现象消失 健康人脊柱前屈至一定角度时,椎旁肌激活策略会由浅层肌群激活逐渐转至深层肌群激活,表现为椎旁肌表面肌电信号突然下降,这种现象被称为屈曲-放松现象(flexion-relaxation phenomenon, FRP)。疼痛会造成神经肌肉功能异常,影响肌肉激活的转移策略,即深层肌肉激活受到抑制和浅层肌肉持续激活,导致FRP消失<sup>[14]</sup>。屈曲-放松比(flexion-relaxation ratio, FRR)是通过测定FRP中不同阶段的表面肌电相关指标(如平均肌电值、均方根

值)计算得到。有研究发现,慢性颈痛患者在屈曲时两侧颈竖脊肌均持续存在较高水平的肌电活动,FRP出现晚且消失早,并且两侧具有差异性<sup>[15]</sup>。还有研究证实,慢性颈痛患者FRP发生率低于无症状人群,颈部伸肌群的FRP在无症状人群中占85%,而在慢性颈痛患者中仅占36%<sup>[16]</sup>。

1.4 肌肉激活时间延迟 肌肉激活时间延迟的常见改变包括激活启动延迟以及激活后的抵消延迟。当颈痛患者受到快速全身性姿势扰动时,其胸锁乳突肌、头夹肌、颈夹肌的运动相对于正常人而言是延迟的,这会降低颈部肌群对不可预期事件(如绊倒、滑倒或者颠簸)发生时的活动能力,导致颈部易受到损伤<sup>[17]</sup>。单侧颈痛患者在俯卧伸展颈部时椎旁肌肉激活不对称,疼痛侧颈伸肌激活时间明显延迟<sup>[18]</sup>。颈部肌肉激活后的抵消延迟是指颈部或上肢肌肉收缩后肌肉放松的时间是延迟的。有研究证明,颈痛患者在上臂重复运动后难以放松上斜方肌、前斜角肌和胸锁乳突肌<sup>[19]</sup>。Kelson等<sup>[20]</sup>发现,相比于无症状人群,职业性颈痛患者的斜方肌在常规短时间的电脑工作中存在相对较少的放松时间。

1.5 肌肉易疲劳性增加 肌肉的疲劳性是指因活动引起肌肉传递力量的能力降低及肌肉对重复刺激的反应减弱,其反映肌肉激活水平、肌纤维动作电位传导速度、运动单位募集及运动单元放电率的变化。与无症状人群相比,慢性颈痛患者颈部肌肉出现疲劳的时间相对提前且更易产生疲劳<sup>[21]</sup>。肌肉的疲劳性可能是由于肌肉组织形态的长期适应性改变造成的,慢性颈痛患者颈部肌肉疲劳性增加可能发生在颈痛早期<sup>[22]</sup>。Kahlae等<sup>[23]</sup>发现,慢性颈痛患者相对于无症状人群而言,颈深伸肌的尺寸较小且肌肉疲劳程度较高。还有研究发现,颈部肌肉疲劳会造成颈椎关节位置觉和空间定向能力减弱,从而导致姿势控制的稳定性以及平衡能力降低,这会大大增加颈椎关节及其周围软组织损伤的可能性<sup>[24]</sup>。

1.6 肌肉共同收缩增加 肌肉协调性是维持脊柱稳定的重要因素。共同收缩比(co-contraction ratio, CCR)是指肌肉在做最大收缩时,拮抗肌平均肌电值与主动肌、拮抗肌平均肌电值总和的比,当肌肉过度激活或不激活时均会影响肌肉的协调性。Cheng等<sup>[25]</sup>发现颈部肌肉在矢状面和冠状面以快、中、慢速度进行自主运动时,快速运动的CCR较中速及慢速的CCR低,主动肌激活性与运动速度成正比,与拮抗肌成反比。颈部前屈和后伸时CCR值不同,说明无论是作为主动肌还是拮抗肌,颈椎在矢状面运动时颈伸肌都比颈屈肌更为活跃,在左右侧屈时的CCR相近,说明颈椎在

冠状运动时肌肉激活是基本对称的。相比于健康受试者,慢性颈痛患者在屈曲和右侧屈的运动中表现出更高的拮抗肌激活,而在相反运动中肌肉控制所提供的保护相对较少<sup>[26]</sup>。

1.7 肌肉微循环改变 血管和痛觉感受器之间的相互作用对慢性颈痛患者肌肉激活有重要影响,肌肉微血流循环参与肌肉骨骼疼痛的发病机制,肌肉内微血管损伤可能是导致肌肉疼痛的重要因素。Mork等<sup>[27]</sup>发现电脑工作者的斜方肌血流量与颈部疼痛存在显著相关性,推测斜方肌血流量的改变可能参与颈痛的发生及发展。Bau等<sup>[28]</sup>监测无症状者和颈肩痛患者肌肉微循环发现,经过治疗后颈肩痛患者上斜方肌血流量显著高于无症状者,推测肌肉微血管充血可能是该治疗的作用机制。相比于无症状者,慢性颈痛患者斜方肌微血流循环量、肌肉痛觉物质及代谢产物均存在不同程度改变,在较高肌肉负荷的情况下,肌肉微血流量以及氧合作用不足可能是导致慢性颈痛患者与无症状者代谢产物和疼痛差异的原因<sup>[29]</sup>。

1.8 肌肉形态学改变 颈部深层肌肉主要由I型纤维组成,保证肌肉能够长时间活动,而富含II型纤维的颈部浅层肌肉主要负责产生较大扭矩,为颈椎提供灵活运动。颈痛患者颈屈肌群和伸肌群均存在I型纤维向II型纤维转化的规律。相比于无症状者,颈痛患者存在肌肉有氧代谢受损的形态学迹象:肌膜下线粒体和肌原纤维间线粒体的平均面积和比例均明显增加,肌膜下脂滴平均面积明显降低,与线粒体接触脂滴比例明显升高,细胞色素C氧化酶缺失区I型纤维横截面积增加<sup>[30]</sup>。Snodgrass等<sup>[31]</sup>发现慢性颈痛患者的多裂肌存在高脂肪浸润的表现。与无症状者相比,慢性颈痛患者颈屈肌群和伸肌群均存在肌肉横截面积变小的肌肉萎缩现象<sup>[32]</sup>。此外,颈痛患者的上斜方肌、肩胛提肌和胸锁乳突肌僵硬程度比无症状者更高<sup>[33]</sup>。

1.9 性别差异 女性肌肉骨骼系统的患病率始终高于男性,这种性别差异导致男性和女性在不同活动中产生不同的工作负荷、运动控制策略及神经肌肉反应。Yoon等<sup>[34]</sup>发现男性更依赖于神经肌肉的兴奋率,而女性更依赖于肌肉激活的变异性,这导致姿势控制及运动协调能力均存在性别差异性。Luger等<sup>[35]</sup>发现在执行非疲劳性、重复性活动时,女性受试者静态、中值和峰值的肌肉激活水平普遍高于男性受试者,肌肉初始运动变异性低于男性受试者。Otto等<sup>[36]</sup>研究发现在重复性颈肩部活动时,女性比男性更容易产生肌肉疲劳,且女性比男性有更高的疼痛阈值。Renda等<sup>[37]</sup>发现短时间、低强度、重复性活动时,男性倾向于以肩膀为主的运动控制策略,而女性则更倾向于以肘

部为主的运动控制策略。

## 2 肌肉功能障碍的影响因素

2.1 疼痛适应模型 疼痛适应模型已证实疼痛会导致主动肌运动神经元输出减少,活动减弱;还会引起拮抗肌运动神经元输出增加,活动增强<sup>[38]</sup>。Poortvliet等<sup>[39]</sup>发现疼痛不会造成肌肉激活的广泛抑制,但会使运动单位重新分配,具体表现在不同活动中的姿势控制或运动功能改变。Christensen等<sup>[40]</sup>发现颈痛患者的主动肌激活减少,而拮抗肌激活水平增加,并且颈肩部和躯干部的运动控制策略也会发生重组。当机体有明确代偿机会时,为减少疼痛对肌肉负荷影响,疼痛适应性改变就会发生。疼痛会改变颈痛患者主动肌和拮抗肌之间激活比例,短期内可以增强脊柱稳定性,适应性地防止疼痛或损伤加剧,这可视为机体代偿性的保护机制。但从长期角度而言,疼痛会增加脊柱负荷,损害脊柱结构,造成症状持续及反复发作。

2.2 疼痛恐惧-回避 疼痛恐惧-回避是指认知处理原则使个体对疼痛或再损伤恐惧,导致机体回避机制激活,发生回避运动,伴随机体社会和情感功能受损。疼痛恐惧的本质是逃避行为,其直接后果是患者无法完成日常活动,这种功能障碍可能会持续且无法纠正,长期的疼痛恐惧-回避会对肌肉骨骼系统产生不利影响,造成机体废用性综合症,进而加剧疼痛,形成恶性循环<sup>[41]</sup>。与无症状人群相比,颈痛患者双侧颈长肌横截面积更小,这可能是疼痛造成的废用性肌肉萎缩<sup>[42]</sup>。Abbott等<sup>[43]</sup>发现慢性颈痛患者疼痛恐惧-回避问卷与颈椎功能障碍指数的相关性最为显著。Devicchi等<sup>[44]</sup>发现,运动恐惧可能与颈痛患者肌肉功能障碍有密切联系,即较高的运动恐惧与较低的肌力、运动范围、运动速度以及运动稳定性相关。

2.3 本体感觉障碍 本体感觉传入神经元密集的分布在颈深肌的肌梭中,外界信号会刺激颈椎本体感觉传入神经,通过中枢神经系统调节以保持头颈部姿势控制以及空间稳定性。疼痛会干扰肌肉本体感觉,造成肌肉功能障碍,导致颈椎位置控制的稳定性减弱以及颈椎节段间运动协调功能受损。Reddy等<sup>[45]</sup>发现,颈椎本体感觉障碍与颈部疼痛强度呈显著正相关。与无症状者相比,颈痛患者的颈椎关节位置觉均受到损害<sup>[46]</sup>。耐力训练可改善颈部肌肉的疲劳度,这有助于提高慢性颈痛患者颈椎关节位置觉的准确性<sup>[47]</sup>。本体感觉障碍会导致颈部肌肉运动控制障碍,短时间内这是防止疼痛对组织刺激而产生的保护性反应,但从长期来看,这种干扰会通过外周和中枢神经系统加重疼痛及运动功能失调,加剧颈椎结构损伤。

2.4 关节源性的肌肉抑制 关节疼痛或损伤均可通过相关节段的脊髓前角细胞传出信号,保护性抑制关节周围肌肉功能活动而造成跨越罹患关节肌肉肌力下降,这种由反射抑制所造成的肌肉力量下降被称之为关节源性肌肉抑制(arthrogenic muscle inhibition, AMI)。AMI是机体本能的保护性反应,目的是减少运动神经元活动,以防止进一步的关节损伤。但长期以往可造成肌力降低、肌肉萎缩及运动功能受限<sup>[48]</sup>。虽然AMI最常发生于股四头肌,但是慢性颈痛患者的颈部肌肉也存在AMI现象。与健康人群相比,AMI会引起慢性颈痛患者的颈部枕下肌肉萎缩及颈椎关节活动受限<sup>[49]</sup>。单侧颈痛患者可能通过AMI从而延缓颈部在俯卧位伸展时疼痛侧椎旁肌的收缩,这说明AMI现象可能是缓解颈椎小关节疼痛及减轻肌肉收缩负荷的一种保护性机制<sup>[50]</sup>。

2.5 区域相互依赖性 区域相互依赖理论学说认为,身体不同区域的生物力学和神经生理学是相互依赖的,一个区域的损伤可能是由较远区域的肌肉骨骼功能障碍引起或介导的,可见,慢性颈痛的损害可能不仅仅局限于疼痛区域。Kahlaee等<sup>[51]</sup>发现单侧慢性颈痛患者存在颈部无痛侧以及无痛区域(肩部、躯干和臀部)活动度和肌力降低,此结果支持区域相互依赖理论,其原因可能与机体双侧感觉运动表征损害和原发性运动皮层激活改变有关。Ghamkhar等<sup>[52]</sup>发现与无症状者相比,慢性颈痛患者颈部以外无痛区域(肩部、躯干和臀部)表现出肌力降低,其中肩部肌力大小是疼痛程度的重要预测因素。这提示慢性颈痛引发的损害不仅应着眼于疼痛区域,也应重视其对无疼痛区域的不利影响,并及时预防与治疗。

## 3 小结与展望

综上所述,慢性颈痛肌肉功能障碍具有多种不同表现机制及影响因素,在临床中可依据肌肉功能障碍的不同机制,通过功能锻炼或康复训练有针对性的改善主动肌与拮抗肌激活的协调性,进而提高肌肉功能。值得注意的是,在短期内,虽然疼痛刺激会使机体产生暂时的保护性代偿机制。但是,从长期角度来看,这会加剧疼痛以及肌肉功能损害,造成相关症状反复发作,进而影响脊柱结构的稳定性。因此,慢性颈痛的早期预防与治疗具有重要的意义。另外,慢性颈痛的损害区域可能比我们想象的更为广泛,建议临床中对即使无痛的区域同样应该进行彻底评估或干预治疗,以达到令人满意的疗效。虽然肌肉功能障碍与运动系统有密切的联系,但是,机体作为一个整体最终表现必然是多系统相互作用产生的联合效应,如神经系统、循环系

统、内分泌系统等。那么,借助更加前沿的研究方法学以及先进的技术检查手段,进一步探索多系统之间相互作用机制将是今后研究的发展方向。

### 【参考文献】

- [1] Treede RD, Rief W, Barke A, et al. Chronic pain as a symptom or a disease: the IASP Classification of Chronic Pain for the International Classification of Diseases (ICD-11) [J]. *Pain*, 2019, 160(1): 19-27.
- [2] 胡旭,孙晓龙,吴相波,等. 非特异性颈痛发生的危险因素分析[J]. *中国康复*, 2022, 37(3):149-152.
- [3] Kazeminasab S, Nejadghaderi SA, Amiri P, et al. Neck pain: global epidemiology, trends and risk factors[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 26.
- [4] 杨钦,周红海,胡梦婷,等. 浅析颈椎病相关动静力学平衡[J]. *颈腰痛杂志*, 2021, 42(1):131-133+139.
- [5] Siasios I, Samara E, Fotiadou A, et al. The Role of Cervical Muscles Morphology in the Surgical Treatment of Degenerative Disc Disease: Clinical Correlations Based on Magnetic Resonance Imaging Studies[J]. *J Clin Med Res*, 2021, 13(7): 367-376.
- [6] Vij N, Tolson H, Kiernan H, et al. Pathoanatomy, biomechanics, and treatment of upper cervical ligamentous instability: A literature review[J]. *Orthop Rev (Pavia)*, 2022, 14(3): 37099.
- [7] Gizzi L, Muceli S, Petzke F, et al. Experimental Muscle Pain Impairs the Synergistic Modular Control of Neck Muscles[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0137844.
- [8] Alalawi A, Devecchi V, Gallina A, et al. Assessment of Neuromuscular and Psychological Function in People with Recurrent Neck Pain during a Period of Remission: Cross-Sectional and Longitudinal Analyses[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(7): 2042.
- [9] Tolentino GA, Bevilacqua-Grossi D, Carvalho GF, et al. Relationship Between Headaches and Neck Pain Characteristics With Neck Muscle Strength[J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2018, 41(8): 650-657.
- [10] Lindström R, Schomacher J, Farina D, et al. Association between neck muscle coactivation, pain, and strength in women with neck pain[J]. *Man Ther*, 2011, 16(1): 80-86.
- [11] Martin-Gomez C, Sestelo-Diaz R, Carrillo-Sanjuan V, et al. Motor control using craniocervical flexion exercises versus other treatments for non-specific chronic neck pain: A systematic review and meta-analysis[J]. *Musculoskelet Sci Pract*, 2019, 42: 52-59.
- [12] Jull G, Falla D. Does increased superficial neck flexor activity in the craniocervical flexion test reflect reduced deep flexor activity in people with neck pain[J]. *Man Ther*, 2016, 25: 43-47.
- [13] Cagnie B, O'Leary S, Elliott J, et al. Pain-induced changes in the activity of the cervical extensor muscles evaluated by muscle functional magnetic resonance imaging[J]. *Clin J Pain*, 2011, 27(5): 392-397.
- [14] Gouteron A, Tabard-Fougère A, Bourredjem A, et al. The flexion relaxation phenomenon in nonspecific chronic low back pain: prevalence, reproducibility and flexion-extension ratios. A systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2022, 31(1): 136-151.
- [15] Nobe R, Yajima H, Takayama M, et al. Characteristics of Surface Electromyograph Activity of Cervical Extensors and Flexors in Nonspecific Neck Pain Patients: A Cross-Sectional Study[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58(12): 1770.
- [16] Shamsi H, Khademi-Kalantari K, Akbarzadeh-Baghban A, et al. Cervical flexion relaxation phenomenon in patients with and without non-specific chronic neck pain[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2021, 34(3): 461-468.
- [17] Sremakaew M, Treleaven J, Jull G, et al. Altered neuromuscular activity and postural stability during standing balance tasks in persons with non-specific neck pain[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2021, 61: 102608.
- [18] Park KN, Kwon OY, Kim SJ, et al. Asymmetry of neck motion and activation of the cervical paraspinal muscles during prone neck extension in subjects with unilateral posterior neck pain[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2017, 30(4): 751-758.
- [19] Januario LB, Oliveira AB, Cid MM, et al. The coordination of shoulder girdle muscles during repetitive arm movements at either slow or fast pace among women with or without neck-shoulder pain[J]. *Hum Mov Sci*, 2017, 55: 287-295.
- [20] Kelson DM, Mathiassen SE, Srinivasan D. Trapezius muscle activity variation during computer work performed by individuals with and without neck-shoulder pain[J]. *Appl Ergon*, 2019, 81: 102908.
- [21] Constantin-Teodosiu D. Constantin D. Molecular Mechanisms of Muscle Fatigue[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(21): 11587.
- [22] Liss CM, Sanni AA, McCully KK. Endurance of the Dorsal and Ventral Muscles in the Neck[J]. *J Funct Morphol Kinesiol*, 2020, 5(3): 47.
- [23] Kahlae AH, Rezasoltani A, Ghamkhar L. Is the clinical cervical extensor endurance test capable of differentiating the local and global muscles[J]. *Spine J*, 2017, 17(7): 913-921.
- [24] Abdelkader NA, Mahmoud AY, Fayaz NA, et al. Decreased neck proprioception and postural stability after induced cervical flexor muscles fatigue[J]. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2020, 20(3): 421-428.
- [25] Cheng CH, Lin KH, Wang JL. Co-contraction of cervical muscles during sagittal and coronal neck motions at different movement speeds[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2008, 103(6): 647-654.
- [26] Cheng CH, Cheng HY, Chen CP, et al. Altered Co-contraction of Cervical Muscles in Young Adults with Chronic Neck Pain during Voluntary Neck Motions[J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(4): 587-590.
- [27] Mork R, Falkenberg HK, Fostervold KI, et al. Discomfort glare and psychological stress during computer work: subjective responses and associations between neck pain and trapezius muscle blood flow[J]. *Int Arch Occup Environ Health*, 2020, 93(1): 29-42.
- [28] Bau JG, Wu SK, Huang BW, et al. Myofascial Treatment for Microcirculation in Patients with Postural Neck and Shoulder Pain [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(12): 2226.

- [29] De Meulemeester K, Calders P, De Pauw R, et al. Morphological and physiological differences in the upper trapezius muscle in patients with work-related trapezius myalgia compared to healthy controls: A systematic review [J]. *Musculoskelet Sci Pract*, 2017, 29: 43-51.
- [30] De Meulemeester K, Cagnie B, Van Dorpe J, et al. Differences in the Mitochondrial and Lipid Droplet Morphology in Female Office Workers With Trapezius Myalgia, Compared With Healthy Controls: A Muscle Biopsy Study [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2019, 98(11): 989-997.
- [31] Snodgrass SJ, Stanwell P, Weber KA, et al. Greater muscle volume and muscle fat infiltrate in the deep cervical spine extensor muscles (multifidus with semispinalis cervicis) in individuals with chronic idiopathic neck pain compared to age and sex-matched asymptomatic controls: a cross-sectional study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 973.
- [32] Smith AC, Albin SR, Abbott R, et al. Confirming the geography of fatty infiltration in the deep cervical extensor muscles in whiplash recovery [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 11471.
- [33] Taş S, Korkusuz F, Erden Z. Neck Muscle Stiffness in Participants With and Without Chronic Neck Pain: A Shear-Wave Elastography Study [J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2018, 41(7): 580-588.
- [34] Yoon S, Bailey CA, Cohen NR, et al. Changes in muscle activation, oxygenation, and morphology following a fatiguing repetitive forward reaching task in young adult males and females [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2021, 59: 102564.
- [35] Luger T, Seibt R, Rieger MA, et al. Sex differences in muscle activity and motor variability in response to a non-fatiguing repetitive screwing task [J]. *Biol Sex Differ*, 2020, 11(1): 6.
- [36] Otto A, Emery K, Côté JN. Sex differences in perceptual responses to experimental pain before and after an experimental fatiguing arm task [J]. *Biol Sex Differ*, 2019, 10(1): 39.
- [37] Renda E, Yang C, Côté JN. Sex-specific myoelectric manifestations of localized fatigue during a multi-joint repetitive task [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2022, 67: 102717.
- [38] Gallina A, Abboud J, Blouin JS. A task-relevant experimental pain model to target motor adaptation [J]. *J Physiol*, 2021, 599(9): 2401-2417.
- [39] Poortvliet PC, Tucker KJ, Finnigan S, et al. Experimental Pain Decreases Corticomuscular Coherence in a Force- But Not a Position-Control Task [J]. *J Pain*, 2019, 20(2): 192-200.
- [40] Christensen SW, Hirata RP, Graven-Nielsen T. Bilateral experimental neck pain reorganize axioscapular muscle coordination and pain sensitivity [J]. *Eur J Pain*, 2017, 21(4): 681-691.
- [41] Hilger K, Hewig J. Individual differences in the focus: understanding variations in pain-related fear and avoidance behavior from the perspective of personality science [J]. *Pain*, 2022, 163(2): e151-e152.
- [42] Noormohammadpour P, Dehghani-Firouzabadi A, Mansournia MA, et al. Comparison of the Cross-Sectional Area of Longus Colli Muscle Between Patients With Cervical Radicular Pain and Healthy Controls [J]. *PMR*, 2017, 9(2): 120-126.
- [43] Abbott A, Allard M, Kierkegaard M, et al. What Biopsychosocial Factors are Associated With Work Ability in Conservatively Managed Patients with Cervical Radiculopathy? A Cross-Sectional Analysis [J]. *PMR*, 2020, 12(1): 64-72.
- [44] Devecchi V, Alalawi A, Liew B, et al. A network analysis reveals the interaction between fear and physical features in people with neck pain [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 11304.
- [45] Reddy RS, Tedla JS, Dixit S, et al. Cervical proprioception and its relationship with neck pain intensity in subjects with cervical spondylosis [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 447.
- [46] Stanton TR, Leake HB, Chalmers KJ, et al. Evidence of Impaired Proprioception in Chronic, Idiopathic Neck Pain: Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Phys Ther*, 2016, 96(6): 876-887.
- [47] Ghamkhar L, Kahlaee AH, Nourbakhsh MR, et al. Relationship Between Proprioception and Endurance Functionality of the Cervical Flexor Muscles in Chronic Neck Pain and Asymptomatic Participants [J]. *J Manipulative Physiol Ther*, 2018, 41(2): 129-136.
- [48] Norte G, Rush J, Sherman D. Arthrogenic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, and Theory for Treating the Unseen in Clinical Rehabilitation [J]. *J Sport Rehabil*, 2021, 31(6): 717-735.
- [49] Rush JL, Sherman DA, Bazett-Jones DM, et al. Understanding Athletic Trainers' Knowledge, Intervention, and Barriers Toward Arthrogenic Muscle Inhibition [J]. *J Sport Rehabil*, 2021, 31(6): 667-675.
- [50] Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition [J]. *J Sport Rehabil*, 2021, 31(6): 707-716.
- [51] Kahlaee AH, Ghamkhar L, Nourbakhsh MR, et al. Strength and Range of Motion in the Contralateral Side to Pain and Pain-Free Regions in Unilateral Chronic Nonspecific Neck Pain Patients [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2020, 99(2): 133-141.
- [52] Ghamkhar L, Arab AM, Nourbakhsh MR, et al. Examination of Regional Interdependence Theory in Chronic Neck Pain: Interpretations from Correlation of Strength Measures in Cervical and Pain-Free Regions [J]. *Pain Med*, 2020, 21(2): e182-e190.