·临床论著·

局部肌肉振动对中老年女性膝骨关节炎患者股四头肌肌肉特性及关节功能的影响

叶子琦[1,2],李雪萍[1],林 强[1],杨 婷[1],魏丽君[3],陈宝宜[3],程 凯[1*]

1 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院),江苏 南京 210006;

2 南京体育学院研究生部,江苏 南京 210014;

3 南京市栖霞区迈皋桥社区卫生服务中心,江苏 南京 210046

* 通信作者:程凯,E-mail:kane_cheng_nj@163.com

收稿日期:2025-06-13;接受日期:2025-10-25

基金项目:国家自然科学基金面上项目(82272596);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX21-1988)

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.10002

摘要 **目的** 观察局部肌肉振动(LMV)对中老年女性膝骨关节炎(KOA)患者股四头肌肌肉特性和关节功能的影响。**方法** 选取2021年10月—2022年10月在南京市栖霞区迈皋桥社区卫生服务中心招募的中老年女性KOA患者44例,采用随机数字表法分为神经肌肉电刺激(NMES)组和LMV组,每组22例。研究期间由于疫情隔离、外出和家属住院等原因每组各脱落2例,最终2组均实际纳入20例。2组均进行与KOA相关的股四头肌强化运动和健康宣教;NMES组采用神经肌肉电刺激仪进行NMES治疗,20 min/次,5次/周,持续3周;LMV组采用电动深层肌肉刺激治疗仪(DMS)进行LMV刺激,20 min/次,5次/周,持续3周。采用西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数(WOMAC)评分对患者骨关节炎症状严重程度进行评估;采用关节量角器测量患者膝关节活动度(ROM);采用起立-行走测试(TUG)对患者下肢平衡功能和移动能力进行评估;采用5次坐-立测试(FTSST)对患者下肢肌力和坐-站转换效率进行评估;使用MyotonPRO数字化触诊仪对患者患侧股内侧肌(VM)、股直肌(RF)和股外侧肌(VL)的肌肉特性进行评估。**结果** 与治疗前比较,2组治疗后WOMAC疼痛、僵硬、身体功能和总分均降低($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后WOMAC僵硬评分明显更低($P<0.05$);2组治疗后WOMAC疼痛、身体功能和总分比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。与治疗前比较,2组治疗后ROM均增加($P<0.05$),TUG和FTSST时间均减少($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后ROM更大($P<0.05$);2组治疗后TUG和FTSST时间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。与治疗前比较,NMES组治疗后VM的D值与RF的F、D和S值均减小($P<0.05$),LMV组治疗后VM、VL、RF的F、D和S值均减小($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后VM的F、D和S值,RF的F、D值,VL的F、D和S值均更小($P<0.05$)。**结论** LMV可有效缓解中老年女性KOA患者疼痛和僵硬症状,增加ROM,改善关节功能及活动能力,并在改善股四头肌肌肉特性方面展现出更为显著的疗效。

关键词 膝骨关节炎;股四头肌;肌肉特性;局部肌肉振动;神经肌肉电刺激

膝骨关节炎(knee osteoarthritis,KOA)是最常见且发病率最高的骨关节炎,主要症状和体征包括疼痛、僵硬、关节活动受限、肌肉力量减退,从而造成关节功能障碍[1]。研究发现,我国女性症状性KOA患病率为19.1%,而男性仅为10.9%,女性患病率显著高于男性[2]。KOA已成为全球范围内致残率较高的疾病之一,疼痛和关节功能障碍极大地降低了患者的生活质量,同时也给社会经济和医疗系统带来

引用格式:叶子琦,李雪萍,林强,等. 局部肌肉振动对中老年女性膝骨关节炎患者股四头肌肌肉特性及关节功能的影响[J]. 康复学报,2026,36(10):689-696.

YE Z Q,LI X P,LIN Q,et al. Effects of localized muscle vibration on quadriceps myomechanical properties and joint function in middle-aged and older female patients with knee osteoarthritis [J]. Rehabil Med,2026,36(10):689-696.

DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.10002

©《康复学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND 4.0协议 © *Rehabilitation Medicine*, OA under the CC BY-NC-ND 4.0

了沉重的负担[3-4]。

股四头肌无力和被动僵硬增加是KOA发展的危险因素，且股四头肌肌肉特性的改变与肌肉和关节功能障碍程度密切相关[5-7]。临床上改善肌肉功能的物理治疗方法众多，其中神经肌肉电刺激（neuromuscular electrical stimulation，NMES）作为一种应用成熟、低风险且高效的干预措施，被证明具有增加肌肉力量、减少关节疼痛、改善活动范围、减轻水肿等作用[8-11]。然而，NMES也存在一定局限，如可能引发局部疼痛、皮炎乃至皮肤灼伤等不良反应。此外，目前关于NMES如何影响股四头肌肌肉特性的研究较少，结论尚不一致。

近年来，振动疗法（vibration therapy，VT）作为一种高效、安全且经济的物理治疗方法日益受到国内外研究者的关注。其中，局部肌肉振动（local muscle vibration，LMV）具有治疗耐受性好、依从性高以及不良反应少等优点，并已被证实能够增强KOA患者股四头肌力量、改善身体功能，成为KOA的一种安全、有效的保守治疗方法[12]。已有研究发现，振动刺激可提高肌肉质量、力量及性能，尤其在改善肌肉硬度、张力以及弹性等肌肉特性方面效果显著[13-14]。然而，目前国内外关于LMV对KOA患者患侧股四头肌肌肉特性影响的研究较少，且针对LMV与NMES的对比研究多集中于功能指标，尚缺乏对肌肉力学特性的评估。因此，本研究以NMES为对照，旨在探究LMV对中老年女性KOA患者股四头肌肌肉特性及关节功能的影响，为LMV在KOA临床康复中的应用提供理论依据。

1 临床资料

1.1 病例选择标准

1.1.1 纳入标准 ① 符合《骨关节炎诊疗指南（2018年版）》[15]中关于KOA的诊断标准；② 年龄50～75岁的中老年女性；③ 患侧股四头肌存在肌筋膜触发点（myofascial trigger points，MTrPs）或压痛点；④ KOA凯尔格伦-劳伦斯（Kellgren-Lawrence，K-L）分级为Ⅰ～Ⅲ级；⑤ 依从性好，可配合评估与治疗者；⑥ 自愿参加研究并签署知情同意书。

1.1.2 排除标准 ① 近6个月内有膝关节手术史或外伤史；② 近3个月接受过关节注射、物理治疗或服用相关药物；③ 合并严重心脑血管疾病、原发性高血压、膝关节肿瘤、结核或类风湿等其他疾病；④ 严重骨质疏松或伴有严重关节内感染等；⑤ 下肢静脉血栓。

1.1.3 剔除与脱落标准 ① 未完成安排的检查与治疗，影响疗效及依从性差者；② 治疗过程中主动退出本次研究者；③ 治疗过程中出现病情变化或发生严重不良事件。

1.2 一般资料

使用PASS 15.0统计软件进行最小样本量估算。参考以往类似研究，以西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数（Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index，WOMAC）评分作为主要结局指标[16]。$\alpha=0.05$，把握度$1-\beta=0.9$，$\delta=63.9-44.4=19.5$，2组标准差$s_1=15.1$，$s_2=15.7$，计算得出$n_1=n_2=15$例，考虑到每组失访率为20%，则每组最少应纳入19例。本研究实际纳入每组22名，每组各完成20例，均符合最小样本量要求。

选取2021年10月—2022年10月在南京市栖霞区迈皋桥社区卫生服务中心招募的中老年女性KOA患者44例作为研究对象，采用随机数字表法分为NMES组和LMV组，每组22例。研究期间由于疫情隔离、外出和家属住院等原因每组各脱落2例，最终2组均实际纳入20例。2组一般资料比较，差异无统计学意义（$P>0.05$），具有可比性。见表1。本研究方案经南京体育学院人体实验伦理委员会审批通过（审批号：RT-2021-07）。

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between two groups

组别	例数	年龄/（$\bar{x}\pm s$，岁）	病程/（$\bar{x}\pm s$，年）	体质量指数/（$\bar{x}\pm s$，kg/m²）	K/L分级		
					Ⅰ级	Ⅱ级	Ⅲ级
NMES组	20	65.70±5.29	4.10±1.65	24.78±3.10	2	12	6
LMV组	20	64.90±6.61	4.05±1.70	25.23±2.28	4	8	8

2 方 法

2.1 治疗方法

2.1.1 常规治疗 2组均进行与KOA相关的股四头肌强化运动和健康宣教。强化运动在治疗师的监督下进行，主要包括股四头肌等长收缩、坐位直抬腿、卧位直腿抬高等；以上所有动作均为双腿交替

运动,可根据患者具体病情和个体差异调整训练计划中的部分项目和运动强度,且在练习结束后进行股四头肌自我牵伸,5次/周,持续3周。健康宣教主要进行KOA诊断、临床表现、危险因素、治疗方法和心理调节等一系列健康知识传播。

2.1.2 NMES组 采用神经肌肉电刺激仪(广州龙之杰科技有限公司,仪器型号:LGT-2320D)进行治疗,输出波形为对称双向脉冲,脉宽300 μs,频率50 Hz,刺激强度以能引起肌肉有节律收缩或能耐受为宜。患者取坐位,将2组电极片分别放置于患侧股直肌(rectus femoris,RF)肌腹两侧和股内侧肌(vastus medialis,VM)远端、股外侧肌(vastus lateralis,VL)近端,20 min/次,5次/周,持续3周。

2.1.3 LMV组 采用上海乾康公司生产的电动深层肌肉刺激治疗仪(deep muscle stimulator,DMS)进行LMV刺激,振动频率设置为36.7 Hz。患者仰卧位,根据触诊和早期评估定位并标记患者股四头肌上的MTrPs和痛点,治疗时将DMS紧贴治疗巾,股四头肌MTrPs治疗15~20 s,随后在肌腹以及起止点等易存在MTrPs和压痛点的部位上再停留10 s,最后顺着肌纤维走行方向来回移动击打,20 min/次,5次/周,持续3周。

2.2 观察指标

在治疗前和治疗3周后,由1名不知晓患者分组情况且经过统一规范化培训的康复治疗师完成所有评估,以确保结果客观,避免测量偏倚。

2.2.1 骨关节炎症状严重程度评估 采用WOMAC评分对患者骨关节炎症状严重程度进行评估,从而判断患者的关节功能状况。该量表一共包括24个问题,分为疼痛、僵硬和身体功能3个子量表。总分为0~240分,总分越高表示患者骨关节炎症状越严重,功能受限越明显,评价标准为:轻度<80分,中度80~120分,重度>120分[17]。

2.2.2 关节活动度评估 采用关节量角器测量患者膝关节活动度(range of motion,ROM)。受试者取俯卧位,检查者立于患肢侧。测量时嘱受试者主动屈膝,尽量将脚跟靠近臀部,对侧腿保持伸直。量角器的轴心放置在股骨外髁,固定臂与股骨纵轴平行,移动臂与胫骨纵轴平行,于最大屈曲角度时读取移动臂所指刻度,即为ROM。

2.2.3 下肢功能评估

2.2.3.1 下肢平衡功能和移动能力评估 采用起立-行走测试(timed up and go test,TUG)对患者下肢平衡功能和移动能力进行评估。受试者坐在椅子上,听到指令后站起,以正常步速走至前方3 m标记处,绕回并坐下。记录从椅子上站起到再次坐下的时间,时间越长表示平衡功能和移动能力越差,重复测量3次,取平均值用于进一步分析。

2.2.3.2 下肢肌力和坐-站转换效率评估 采用5次坐-立测试(five times sit-to-stand test,FTSST)对患者下肢肌力和坐-站转换效率进行评估。受试者坐于无扶手椅子,座椅紧靠墙边;双臂交叉于胸前,双脚平放在地上。听到"开始"口令后,快速在完全站起后再次坐下,重复5次坐起动作,记录所用的时间,所需时间越短,代表下肢功能越好。重复测量3次,取平均值用于进一步分析。

2.2.4 股四头肌肌肉特性 使用MyotonPRO数字化触诊仪(爱沙尼亚Myoton公司)对患者患侧VM、RF和VL的肌肉特性进行评估。MyotonPRO是一种新型的便携式设备,用于无创测量浅表骨骼肌的力学性能,其可靠性和有效性已在以往研究中得到了证明[18]。本研究选用其中3个参数:振荡频率(frequency,F)、动态硬度(stiffness,S)以及对数衰减值(logarithmic decrement,D)。其中,F值代表肌肉张力,S值代表肌肉硬度,D值代表肌肉弹性,每个测量点重复测量3次,取平均值用于进一步分析。

2.2.5 安全性评估 记录2组在治疗期间不良事件发生情况。

2.3 统计学方法

使用SPSS 25.0统计软件进行统计学分析。计量资料若服从正态分布采用($\bar{x}\pm s$)表示,组内比较采用配对t检验,组间比较采用两独立样本t检验;计数资料采用频数表示,有序分类变量采用Mann-Whitney U检验进行组间对比。以$P<0.05$为差异有统计学意义。

3 结 果

3.1 2组治疗前后WOMAC评分比较

与治疗前比较,2组治疗后WOMAC疼痛、僵硬、身体功能和总分均降低($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后WOMAC僵硬评分明显更低($P<0.05$);2组治疗后WOMAC疼痛、身体功能和总分比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表2。

表2 2组治疗前后WOMAC评分比较($\bar{x}\pm s$) 分

Table 2 Comparison of WOMAC scores between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$) Scores

组别	例数	疼痛		僵硬		身体功能		总分	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
NMES组	20	10.05±2.58	8.35±2.48[1)]	5.50±1.15	5.10±1.02[1)]	28.80±3.62	23.20±3.74[1)]	44.35±4.89	36.65±4.86[1)]
LMV组	20	10.75±3.68	8.45±3.12[1)]	5.05±1.85	3.80±1.54[1)2)]	30.05±9.25	21.90±5.99[1)]	45.85±11.9	34.15±8.39[1)]

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与NMES组比较,2) $P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the NMES group, 2) $P<0.05$.

3.2 2组治疗前后ROM、TUG和FTSST时间比较

与治疗前比较,2组治疗后ROM均增加($P<0.05$),TUG和FTSST时间均减少($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后ROM更大($P<0.05$);2组治疗后TUG和FTSST时间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表3。

表3 2组治疗前后ROM、TUG和FTSST时间比较($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of ROM, TUG and FTSST between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	ROM/°		TUG/s		FTSST/s	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
NMES组	20	117.15±4.74	119.35±4.55[1)]	11.06±0.99	10.13±0.91[1)]	12.25±2.51	11.40±2.39[1)]
LMV组	20	117.95±4.95	122.70±5.03[1)2)]	11.05±1.18	10.10±1.05[1)]	13.11±3.45	11.59±2.84[1)]

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与NMES组比较,2) $P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the NMES group, 2) $P<0.05$.

3.3 2组治疗前后股四头肌肌肉特性参数比较

与治疗前比较,NMES组治疗后VM的D值与RF的F、D和S值均减小($P<0.05$),LMV组治疗后VM、VL、RF的F、D和S值均减小($P<0.05$);与NMES组比较,LMV组治疗后VM的F、D和S值,RF的F、D值,VL的F、D和S值均更小($P<0.05$)。见表4~6。

表4 2组治疗前后VM肌肉特性比较($\bar{x}\pm s$)

Table 4 Comparison of VM muscle properties between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	F值/Hz		D值/Log		S值/(N/m)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
NMES组	20	15.22±1.58	15.13±1.68	1.54±0.28	1.48±0.26[1)]	292.60±45.60	295.50±43.51
LMV组	20	14.99±1.61	12.92±1.41[1)2)]	1.56±0.25	1.32±0.24[1)2)]	289.75±28.07	264.85±31.01[1)2)]

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与NMES组比较,2) $P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the NMES group, 2) $P<0.05$.

表5 2组治疗前后RF肌肉特性比较($\bar{x}\pm s$)

Table 5 Comparison of RF muscle properties between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	F值/Hz		D值/Log		S值/(N/m)	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
NMES组	20	14.75±1.35	14.48±1.26[1)]	1.52±0.19	1.45±0.19[1)]	283.95±19.92	270.50±20.11[1)]
LMV组	20	14.86±1.10	13.47±1.02[1)2)]	1.61±0.15	1.34±0.13[1)2)]	285.35±27.46	261.35±25.60[1)]

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与NMES组比较,2) $P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the NMES group, 2) $P<0.05$.

表6 2组治疗前后VL肌肉特性比较($\bar{x}\pm s$)

Table 6 Comparison of VL muscle properties between two groups before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	F值/Hz		D值/Log		S值/N/m	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
NMES组	20	16.43±1.37	16.38±1.11	1.56±0.22	1.53±0.25	320.65±24.60	314.40±24.44
LMV组	20	16.20±1.16	14.59±1.24[1)2)]	1.58±0.22	1.34±0.16[1)2)]	308.50±38.05	283.90±40.41[1)2)]

注:与治疗前比较,1) $P<0.05$;与NMES组比较,2) $P<0.05$。

Note: compared with that before treatment, 1) $P<0.05$; compared with the NMES group, 2) $P<0.05$.

3.4 2组安全性比较

治疗期间,2组均未出现任何与治疗相关的不良反应或严重不良事件。

4 讨 论

KOA是一种以疼痛、关节僵硬、ROM降低、肌肉无力以及功能限制为主要特征的慢性疾病。KOA患者常伴有股四头肌无力,这不仅是常见的功能障碍,还是KOA发病和进展的危险因素[19]。股四头肌强化有助于保持和增加肌肉力量,改善关节稳定性和灵活性,增加关节活动范围以及提高疼痛的耐受性[20-21]。同时,膝关节伸肌系统生物力学特性的改变可能会增加临床KOA的风险,股四头肌良好的柔韧性和力量有助于KOA的症状管理和功能维持[6]。本研究以NMES为对照,探究了LMV刺激股四头肌对KOA患者的影响,研究发现治疗3周后,2组关节功能以及股四头肌肌肉特性较治疗前均有不同程度的改善,且LMV在改善股四头肌肌肉特性方面表现出更为显著的优势。

4.1 LMV可有效改善KOA患者疼痛、僵硬、ROM及身体功能

本研究结果显示,治疗后LMV组的WOMAC疼痛、僵硬、身体功能和总分均降低,ROM增加、TUG和FTSST时间均减少,提示LMV可以有效缓解KOA患者疼痛、僵硬症状并改善关节功能。2组在关节功能改善方面效果相近,提示LMV与NMES在改善KOA患者关节功能方面可能具有相近的临床效果。LMV产生上述疗效的潜在机制,可能与振动刺激激活肌肉的强直性振动反射(tonic vibration reflex,TVR)有关;TVR可引起肌肉的不自主收缩,在肌肉张力完全放松时进行治疗,其作用尤为显著[22-23]。目前关于LMV治疗KOA的振动频率、振幅和持续时间尚无统一标准。既往研究表明33~40 Hz范围内的LMV可有效减轻肌肉骨骼疾病的疼痛症状[24]。此外,与60 Hz相比,30 Hz的局部振动频率更利于激活股四头肌,可显著增加肌电图振幅,提示其可能通过增加运动单位募集等机制来改善股四头肌激活,因此,该频率适用于膝关节病变引起的股四头肌功能障碍的治疗[23]。基于上述研究及课题组前期预实验,本研究选用36.7 Hz的振动频率,且患者对该频率表现出良好的耐受性[23-24]。既往研究证实,将LMV应用于股四头肌,可改善轻度至中度慢性KOA患者的疼痛、僵硬及功能受限,这与本研究中LMV组在疼痛、僵硬、身体功能改善方面的疗效相一致[25]。

本研究通过TUG和FTSST评估了KOA患者的躯体活动功能,FTSST能根据测试的时间反映KOA患者的行走能力与患肢肌力水平,且与TUG之间存在较高的相关性[26]。本研究结果显示,治疗后2组TUG和FTSST用时均明显减少,但组间比较差异无统计学意义,提示两种干预方法在改善患者躯体活动功能方面均有获益。同时,健康宣教和股四头肌强化运动也有助于减少KOA患者对蹲起、坐站等功能活动和跌倒的恐惧,增强运动信心并提高治疗依从性。

此外,本研究还发现,与治疗前比较,2组治疗后ROM均增加,但LMV组治疗后ROM较NMES组更大;同时,LMV组VL的F、D和S值均较NMES组更小,而NMES组VL的F、D和S值治疗前后未见明显变化。既往研究显示,KOA患者VL硬度增加,股四头肌硬度在膝关节屈曲时增加,且VL硬度与WOMAC评分呈正相关,提示VL硬度增加可能与膝关节活动受限及关节功能障碍有关[7]。本研究提示,LMV干预后VL肌肉特性的变化可能与患者膝关节ROM提升相关,但其具体机制仍有待进一步验证。

4.2 LMV可有效改善KOA患者股四头肌肌肉特性,且优于NMES

2组在改善关节功能方面效果相近,但在股四头肌肌肉特性改善方面存在明显差异。在慢性骨骼肌肉疼痛疾病中,软组织张力和僵硬的增加、肌肉无力或紧绷状态会导致肌肉力学失衡,MTrPs的活化则可引发局部肌肉痉挛和应力集中,共同加剧张力性疼痛和僵硬,最终导致肌肉功能障碍,并进一步引起关节功能下降[27-28]。本研究LMV组采用DMS对KOA患者患侧股四头肌的MTrPs和大腿前肌群进行振动干预。结果显示,与NMES组比较,治疗后LMV组股四头肌的F、S、D值均明显减小,提示LMV可能有助于降低股四头肌张力和硬度,并改善其弹性。既往研究亦发现,35~50 Hz频率范围的LMV干预10次能够改善斜方肌和肩胛提肌MTrPs的压痛敏感性并缓解疼痛,提示LMV对不同部位肌肉特性均具有改善作用[29]。

值得注意的是,NMES虽为KOA常用的电刺激治疗方法之一,与肌肉强化计划结合时具有一定疗效,且经济实用,尤其适用于不能进行常规运动的

人群[30-31]。既往在非KOA人群中的研究发现，NMES干预8周后肌肉的黏弹性特性和性能参数未见明显变化[32]；另一项研究则发现NMES后小腿三头肌的肌肉肌腱和肌肉关节处的刚度下降[33]。本研究中NMES在肌肉特性的改善作用同样有限，仅明显改善了VM的肌肉弹性与RF的肌肉张力、肌肉硬度和肌肉弹性，其余部位未见明显前后差异，这可能与NMES电极片固定于特定位置、电流刺激范围有限及测量点选择有关。相比之下，LMV的移动式操作覆盖更广，机械振动垂直作用于深层肌肉及筋膜组织，更有利于改善肌肉硬度、张力及弹性等力学特性。本研究结果显示，除RF的S值外，LMV组其余肌肉特性指标的改善程度均优于NMES组，提示在本研究条件下LMV在优化股四头肌肌肉特性方面可能较NMES更具优势。从干预机制来看，NMES主要通过电刺激促进肌肉收缩、提升肌力，以改善关节功能为主，对深层肌肉张力和硬度等力学指标的调节作用可能相对有限。而LMV作为机械刺激，其作用方式与电刺激不同，对股四头肌力学特性的改善可能更为明显。

4.3 LMV改善KOA患者肌肉特性的可能机制

LMV在改善股四头肌肌肉特性方面优于NMES，其可能的作用机制包括以下几个方面：① LMV通过快速持续的机械振动直接作用于MTrPs，降低其敏感性，提高痛阈并产生累积镇痛效应；同时能够松解短缩的肌肉，恢复肌肉正常长度，缓解局部肌肉痉挛，从而降低软组织张力和硬度[34]。② 局部机械振动波对肌肉及筋膜等产生牵拉作用和温热效应，可增加肌肉内氧合血红蛋白和总血红蛋白的浓度，同时促进血液循环和淋巴回流，有助于膝关节处水肿和炎性物质的吸收，从而改善组织代谢，松解股四头肌肌肉软组织粘连和缓解肌肉紧张[35]。为进一步巩固疗效，本研究在肌肉锻炼中增加了股四头肌牵张，以辅助改善肌肉生物力学特性[36]。既往研究表明，股四头肌硬度较高与老年人KOA风险增加相关，且单侧KOA患者患侧VM的肌肉张力显著高于健侧、症状改善后张力也随之下降，提示股四头肌张力和硬度与KOA患者的症状及疾病风险密切相关[5,37]。由此可见，降低股四头肌肌肉张力与硬度，可能有助于改善股四头肌肌肉功能状态。

5 结 论

综上所述，尽管LMV和NMES在缓解中老年女性KOA患者疼痛、僵硬症状及改善关节功能方面均具有积极作用，但本研究进一步对股四头肌肌肉特性的分析表明，LMV在改善肌肉张力和硬度、提高肌肉弹性方面的效果优于NMES。这一发现提示，对于伴有膝周软组织张力增高及关节僵硬的KOA患者，采用LMV进行干预可能比NMES更能针对性地改善其软组织生物力学状态，从而进一步提升关节功能；且LMV具备操作简便、适于居家实施的特点。因此，LMV可作为KOA治疗的一项有效补充选择。但本研究尚存在一定的局限性，包括纳入的样本量有限且均为女性受试者，治疗时间短，缺少影像学指标，未设置主动功能锻炼对照组等。未来研究应致力于开展与主动锻炼的“头对头”比较，并在更大样本、更长疗程中结合影像学指标，以明确其短期与长期效应。

参考文献

[1] SHARMA L. Osteoarthritis of the knee [J]. N Engl J Med, 2021, 384(1): 51-59.

[2] LI D H, LI S J, CHEN Q, et al. The prevalence of symptomatic knee osteoarthritis in relation to age, sex, area, region, and body mass index in China: a systematic review and meta-analysis [J]. Front Med, 2020, 7: 304.

[3] LONG H B, LIU Q, YIN H Y, et al. Prevalence trends of site-specific osteoarthritis from 1990 to 2019: findings from the global burden of disease study 2019 [J]. Arthritis Rheumatol, 2022, 74(7): 1172-1183.

[4] SEBBAG E, FELTEN R, SAGEZ F, et al. The world-wide burden of musculoskeletal diseases: a systematic analysis of the World Health Organization Burden of Diseases Database [J]. Ann Rheum Dis, 2019, 78(6): 844-848.

[5] LI Z P, LEUNG K L, HUANG C, et al. Associations amongst dynamic knee stiffness during gait, quadriceps stiffness, and the incidence of knee osteoarthritis over 24 months: a cohort study with a mediation analysis [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2024, 25(1): 511.

[6] LI Z P, LEUNG K L, HUANG C, et al. Passive stiffness of the quadriceps predicts the incidence of clinical knee osteoarthritis in twelve months [J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2023, 59(1): 65-74.

[7] CHANG T T, ZHU Y C, LI Z, et al. Modulation in the stiffness of specific muscles of the quadriceps in patients with knee osteoarthritis and their relationship with functional ability [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022, 9: 781672.

[8] DEVRIMSEL G, METIN Y, SERDAROGLU BEYAZAL M. Short-term effects of neuromuscular electrical stimulation and ultrasound therapies on muscle architecture and functional capacity in knee osteoarthritis: a randomized study [J]. Clin Rehabil, 2019, 33(3): 418-427.

[9] BURGESS L C, TAYLOR P, WAINWRIGHT T W, et al. Adherence to neuromuscular electrical stimulation interventions for muscle impairment in hip and knee osteoarthritis: a systematic review [J]. Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord, 2021, 14: 11795441211028746.

[10] SAX O C, GESHEFF M G, MAHAJAN A, et al. A novel mobile app-based neuromuscular electrical stimulation therapy for improvement of knee pain, stiffness, and function in knee osteoarthritis: a randomized trial [J]. Arthroplast Today, 2022, 15: 125-131.

[11] DOUCET B M, LAM A, GRIFFIN L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function [J]. Yale J Biol Med, 2012, 85(2): 201-215.

[12] BARATI K, ESFANDIARI E, KAMYAB M, et al. The effect of local muscle vibration on clinical and biomechanical parameters in people with knee osteoarthritis: a systematic review [J]. Med J Islam Repub Iran, 2021, 35: 124.

[13] 卢艳丽，孙建梅，戴润清. 深部肌肉刺激治疗对颈肩痛患者肌肉特性及表面肌电信号的影响[J]. 中华保健医学杂志，2019，21(1)：32-35.
LU Y L, SUN J M, DAI R Q. Effect of deep muscle stimulation on muscle characteristics and surface electromyogram signals of patients with neck and shoulder pain [J]. Chin J Health Care Med, 2019, 21(1): 32-35.

[14] AL MASUD A, SHEN C L, LUK H Y, et al. Impact of local vibration training on neuromuscular activity, muscle cell, and muscle strength: a review [J]. Crit Rev Biomed Eng, 2022, 50(1): 1-17.

[15] 中华医学会骨科学分会关节外科学组. 骨关节炎诊疗指南(2018年版)[J]. 中华骨科杂志，2018，38(12)：705-715.
Chinese Society of Osteology and Arthrology, Chinese Medical Association. Guideline for diagnosis and treatment of osteoarthritis (2018 edition) [J]. Chin J Orthop, 2018, 38(12): 705-715.

[16] BENEDETTI M G, BOCCIA G, CAVAZZUTI L, et al. Localized muscle vibration reverses quadriceps muscle hypotrophy and improves physical function: a clinical and electrophysiological study [J]. Int J Rehabil Res, 2017, 40(4): 339-346.

[17] BELLAMY N, BUCHANAN W W, GOLDSMITH C H, et al. Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee [J]. J Rheumatol, 1988, 15(12): 1833-1840.

[18] LETTNER J, KRÓLIKOWSKA A, RAMADANOV N, et al. Evaluating the reliability of MyotonPro in assessing muscle properties: a systematic review of diagnostic test accuracy [J]. Medicina, 2024, 60(6): 851.

[19] SLEMENDA C, BRANDT K D, HEILMAN D K, et al. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee [J]. Ann Intern Med, 1997, 127(2): 97-104.

[20] SADEGHI A, ROSTAMI M, KHANLARI Z, et al. Effectiveness of muscle strengthening exercises on the clinical outcomes of patients with knee osteoarthritis: a randomized four-arm controlled trial [J]. Caspian J Intern Med, 2023, 14(3): 433-442.

[21] LALL S, PREM V, KARVANNAN H. Comparison of neuromuscular joint facilitation and quadriceps strengthening exercise in knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. Int J Ther Massage Bodywork, 2023, 16(3): 10-19.

[22] GERMANN D, EL BOUSE A, SHNIER J, et al. Effects of local vibration therapy on various performance parameters: a narrative literature review [J]. J Can Chiropr Assoc, 2018, 62(3): 170-181.

[23] PAMUKOFF D N, RYAN E D, TROY BLACKBURN J. The acute effects of local muscle vibration frequency on peak torque, rate of torque development, and EMG activity [J]. J Electromyogr Kinesiol, 2014, 24(6): 888-894.

[24] YILMAZ MENEK M, DANSUK E, TAYBOGA U I. Effect of local vibration therapy on pain, joint position sense, kinesiophobia, and disability in cervical disc herniation: a randomized controlled trial [J]. J Clin Med, 2024, 13(15): 4566.

[25] RABINI A, DE SIRE A, MARZETTI E, et al. Effects of focal muscle vibration on physical functioning in patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2015, 51(5): 513-520.

[26] 焦伟国，郭燕梅，朱才兴，等. 5次坐-立试验在膝骨关节炎患者功能评估中的价值[J]. 中国康复理论与实践，2010，16(1)：21-22.
JIAO W G, GUO Y M, ZHU C X, et al. Application of 5 times sit-to-stand test in knee osteoarthritis [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2010, 16(1): 21-22.

[27] LIN X Z, LI F, LU H L, et al. Acupuncturing of myofascial pain trigger points for the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis [J]. Medicine, 2022, 101(8): e28838.

[28] MOHAMMADI KOJIDI M, OKHOVATIAN F, RAHIMI A, et al. The influence of positional release therapy on the myofascial trigger points of the upper trapezius muscle in computer users [J]. J Bodyw Mov Ther, 2016, 20(4): 767-773.

[29] DUEÑAS L, ZAMORA T, LLUCH E, et al. The effect of vibration therapy on neck myofascial trigger points: a randomized controlled pilot study [J]. Clin Biomech, 2020, 78: 105071.

[30] NOVAK S, GUERRON G, ZOU Z W, et al. New guidelines for electrical stimulation parameters in adult patients with knee osteoarthritis based on a systematic review of the current literature [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2020, 99(8): 682-688.

[31] ZENG C, LI H, YANG T, et al. Electrical stimulation for pain relief in knee osteoarthritis: systematic review and network meta-analysis [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2015, 23(2): 189-202.

[32] UYSAL Ö, DELIOĞLU K, FIRAT T. The effects of hamstring training methods on muscle viscoelastic properties in healthy young individuals [J]. Scand J Med Sci Sports, 2021, 31(2): 371-379.

[33] GROSSET J F, CANON F, PÉROT C, et al. Changes in contractile and elastic properties of the triceps surae muscle induced by neuromuscular electrical stimulation training [J]. Eur J Appl Physiol, 2014, 114(7): 1403-1411.

[34] 陈进，李加斌，顾铭星，等. 深层肌肉刺激慢性非特异性腰痛患者腰肌表面肌电变化与步态时空及动力学的参数变化[J]. 中

国组织工程研究，2022，26(18)：2894-2899.
CHEN J，LI J B，GU M X，et al. Effect of deep muscle stimulation on psoas surface electromyography and spatiotemporal and kinetic gait parameters in patients with chronic non-specific low back pain [J]. Chin J Tissue Eng Res，2022，26(18)：2894-2899.
[35] 张其明，鲍赛荣，单莎瑞，等. 电动深层肌肉刺激慢性非特异性腰痛患者竖脊肌的张力及硬度变化的数字化肌肉检测[J]. 中国组织工程研究，2023，27(8)：1250-1256.
ZHANG Q M，BAO S R，SHAN S R，et al. Effect of deep muscle stimulation on muscle tone and stiffness of erector spinaes in patients with chronic nonspecific low back pain：a digital muscle testing [J]. Chin J Tissue Eng Res，2023，27(8)：1250-1256.
[36] 张辉，黄强民，NGUYEN T T，等. 灭活肌筋膜疼痛触发点治疗膝骨性关节炎108例疗效观察[J]. 中国骨伤，2016，29(9)：782-786.
ZHANG H，HUANG Q M，NGUYEN T T，et al. Clinical observation of effectiveness in the treatment of senile knee osteoarthritis with the inactivation of myofascial trigger points：108 cases reports [J]. China J Orthop Traumatol，2016，29(9)：782-786.
[37] 吴佳涛. 基于肌肉性能和功能量表评估小针刀疗法联合功能锻炼治疗膝骨关节炎的临床疗效[D]. 广州：广州中医药大学，2021：39.
WU J T. Clinical efficacy observation of small needle knife therapy combined with functional exercise in the treatment of knee osteoarthritis based on muscle performance，pain and function evaluation [D]. Guangzhou：Guangzhou University of Chinese Medicine，2021：39.

Effects of Localized Muscle Vibration on Quadriceps Myomechanical Properties and Joint Function in Middle-Aged and older Female Patients with Knee Osteoarthritis

YE Ziqi[1,2], LI Xueping[1], LIN Qiang[1], YANG Ting[1], WEI Lijun[3], CHEN Baoyi[3], CHENG Kai[1*]
[1] *Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 210006, China;*
[2] *Graduate Department, Nanjing Sport Institute, Nanjing, Jiangsu 210014, China;*
[3] *Maigaoqiao Community Health Service Center, Qixia District, Nanjing, Jiangsu 210046, China*
*Correspondence: CHENG Kai, E-mail: kane_cheng_nj@163.com

ABSTRACT **Objective** To observe the effects of localized muscle vibration (LMV) on quadriceps myomechanical properties and joint function in middle-aged and older female patients with knee osteoarthritis (KOA). **Methods** A total of 44 female patients with KOA recruited from Maigaoqiao Community Health Service Center, Qixia District, Nanjing, between October 2021 and October 2022 were enrolled and randomly assigned into either the neuromuscular electrical stimulation (NMES) group and the LMV group using a computer-generated random number table, with 22 cases in each group. During the study period, 2 cases dropped out from each group due to epidemic quarantine, travel, or family hospitalization, resulting in 20 cases in each group. Both groups received KOA-related quadriceps strengthening exercises and health education. The NMES group received NMES therapy using a neuromuscular electrical stimulation device for 20 min per session, 5 times per week, for 3 consecutive weeks. The LMV group received LMV stimulation using an electric deep muscle stimulator (DMS) for 20 min per session, 5 times per week, for 3 consecutive weeks. The Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index (WOMAC) was used to assess the severity of osteoarthritis symptoms. A goniometer was used to measure knee range of motion (ROM). The timed up and go test (TUG) was used to evaluate lower limb balance and mobility. The five times sit-to-stand test (FTSST) was used to assess lower limb muscle strength and sit-to-stand transfer efficiency. A MyotonPRO digital palpation device was used to evaluate the myomechanical properties of the vastus medialis (VM), rectus femoris (RF), and vastus lateralis (VL) on the affected side. **Results** Compared with those before treatment, the WOMAC pain, stiffness, physical function, and total scores decreased in both groups after treatment ($P<0.05$). Compared with the NMES group, the LMV group showed a significantly lower WOMAC stiffness score after treatment ($P<0.05$). There were no statistically significant differences in WOMAC pain, physical function, and total scores between the two groups after treatment ($P>0.05$). Compared with those before treatment, ROM increased ($P<0.05$), and TUG and FTSST completion times decreased ($P<0.05$) in both groups after treatment. Compared with the NMES group, the LMV group showed greater ROM after treatment ($P<0.05$). There were no statistically significant differences in TUG and FTSST completion times between the two groups ($P>0.05$). Compared with those before treatment, the D value of VM and the F, D, and S values of RF decreased in the NMES group ($P<0.05$), while the F, D, and S values of VM, VL, and RF decreased in the LMV group ($P<0.05$). Compared with the NMES group, the LMV group showed lower F, D, and S values of VM, F and D values of RF, and F, D, and S values of VL showed lower in the LMV group after treatment ($P<0.05$). **Conclusion** LMV effectively alleviates pain and stiffness, increases ROM, and improves joint function and mobility in middle-aged and elderly female with KOA, showing more pronounced effects than NMES in improving quadriceps myomechanical properties.

KEY WORDS knee osteoarthritis; quadriceps; muscle properties; localized myomechanical vibration; neuromuscular electrical stimulation
DOI:10.3724/SP.J.1329.2026.10002