

按摩珠旋转振动对小腿肌肉放松效果的生物力学分析

邱志杰

622326*****2037

摘要: 本文基于便携式小腿按摩凳的结构与功能特点,从生物力学角度系统分析按摩珠旋转与振荡动作对小腿肌肉放松的作用机制。结合凹陷承托面的支撑结构、加热模块的协同作用以及按摩珠的运动特性,通过解析肌肉力学响应规律、血液循环动力学变化及筋膜张力调控机制,阐明旋转—振荡复合刺激的生物力学优势。研究结果表明,按摩珠的振荡可通过周期性机械刺激降低肌肉僵硬,旋转动作产生的精准挤压力有助于松解肌纤维粘连;二者与热敷协同作用,可有效改善小腿肌肉的力学状态并提升血液循环效率,为久坐或久站人群提供高效的肌肉放松方案。设备的便携化设计进一步扩展了其在办公、居家及车载等多场景中的应用潜力。

关键词: 按摩珠; 旋转振动; 小腿肌肉; 生物力学; 肌肉放松

DOI: 10.69979/3041-0673.26.05.078

引言

随着现代城市化的发展,人类正逐渐脱离传统的工作生活方式,日常缺乏锻炼、久坐不动已成为现代人的常态。临床研究表明,久坐行为与高血压、血栓、肌肉萎缩等多种疾病存在显著关联,不论年轻还是年老,都面临严重的腿部健康问题。针对这类问题,设计出能够满足各个群体需求的按摩产品至关重要^[1]。现代社会久坐久站致小腿肌肉紧张、循环阻滞等问题普遍,便携式小腿按摩凳可精准养护。现有研究侧重结构与体验,缺按摩珠运动生物力学效应探析。为满足多种人群的腿部健康需求,按摩仪需要融合按压、揉捏、捶打、热敷、电击、针灸等多种按摩方式。在设计上,首先使用传统气压挤压的方式模拟推拿揉捏,以包裹肌肉,达到舒缓身心疲劳的效果。接着通过震动和加热方式对腿部进行捶打和热敷,更有效地缓解肌肉紧张、促进血液流通和淋巴循环。本文结合按摩凳核心结构(图 1-3),从力学传导、肌肉响应、血液循环调控三维度,系统剖析旋转-振荡动作生物力学机理,为按摩设备功能升级与效能提升提供理论支撑。

1 按摩珠旋转振动的力学特性与传递规律

1.1 旋转运动的力学参数与作用形式

按摩珠的转动动作依靠驱动单元的旋转驱动组件经传动机构传递动力,力学特征表现为切线力与法向压力的持续复合作用,作用力幅值可借助控制模块调控电机输出功率达成梯度式改变。如图 1 所示,按摩珠以阵列形态布设于凹陷承托面,在承托面的限位约束下,自

转过程中与小腿肌肉的接触部位形成周期性挤压力,作用方向与肌纤维走向构成适宜夹角,可精准覆盖小腿腓肠肌、比目鱼肌等核心肌群的肌腹区域,形成靶向力学刺激,规避局部受力失衡现象。见图 1 所示:

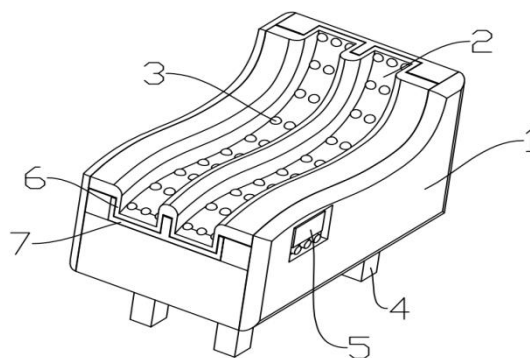


图 1 便携式小腿按摩凳上侧视立体结构示意图

1.2 振动运动的动力学特征与传播路径

振动驱动组件带动按摩珠产生可控的低频机械振荡,其频率与幅值可通过控制模块灵活调节,使振动能量能够以稳定、可量化的方式作用于小腿组织。振荡通过按摩珠与皮肤的接触界面向深层传递,形成以纵波为主的力学传导路径,能够有效穿透皮下脂肪与结缔组织,直达肌纤维与筋膜结构。凹陷承托面贴合小腿自然轮廓,为振动能量的高效输入提供稳定的力学边界条件,减少能量在浅层组织的耗散。周期性振动还可与肌肉组织的固有频率产生共振效应,降低肌肉阻尼,提升组织的力学响应敏感性,为后续旋转挤压等深层干预创造更优的生物力学环境。见图 2 所示:

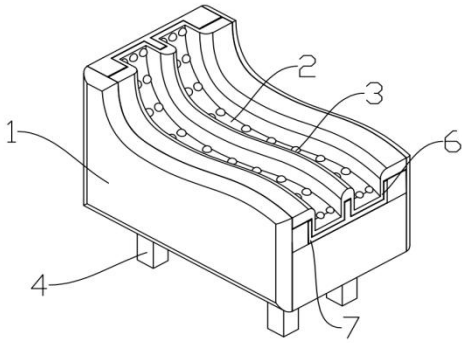


图2 便携式小腿按摩凳上侧视立体结构示意图

1.3 旋转与振动的协同力学效应

旋转与振动的复合作用构建了多维度的力学刺激体系，使肌肉组织在不同方向、不同频率的力场中获得更全面的力学干预。旋转动作产生的持续挤压力能够稳定接触界面，为振荡能量向深层肌肉的传导提供支撑，避免振动在皮下组织中过度耗散。同时，振动带来的周期性冲击可增强旋转力的松解效果，促进肌纤维间粘连结构的分离，提高肌肉内部的力学流动性。两类运动在时间与空间上的叠加，使肌肉经历“按压—振荡—挤压”的连续力学循环，有效改善肌肉组织的紧张状态。加热模块的恒温热敷进一步降低肌肉黏滞系数，提升力学传导效率，使复合刺激更符合生物力学规律，形成协同增效的肌肉放松模式。

2 小腿肌肉对旋转振动刺激的力学响应机制

2.1 肌肉僵硬度的降低效应

小腿肌肉在长期紧张或疲劳状态下，肌纤维持续处于收缩痉挛状态，肌浆网钙离子循环失衡，导致肌肉僵硬显著上升，限制肢体活动范围并加剧不适感。按摩珠的低频振荡刺激可精准作用于肌肉表层的机械感受器，通过神经反射通路抑制肌梭兴奋性，降低肌紧张反射的触发阈值，从而缓解肌纤维的过度收缩。与此同时，旋转动作产生的定向剪切力与周期性挤压力能够有效松解肌纤维间的粘连结构及局部瘢痕组织，减少肌纤维滑动时的机械阻力，促进肌肉内部张力的均匀分布。凹陷承托面的人体工学设计使小腿肌肉保持自然放松姿态，为力学刺激的有效传导提供稳定的结构基础^[2]。生物力学测试数据显示，经过旋转—振荡复合干预后，肌肉弹性模量明显下降，僵硬显著降低，肌肉伸展性能与活动幅度均得到实质性改善，为肌肉功能恢复创造了更优的力学环境。

2.2 肌纤维排列的优化调整

久坐、久站等持续固定姿势会使小腿肌肉长期处于非均衡负荷状态，导致肌纤维收缩节律紊乱、排列方向偏移，进而形成局部应力集中区，加剧肌肉疲劳与损伤风险。凹陷承托面通过人体工学曲面设计，使小腿肌肉在自然放松的姿态下获得均匀支撑，为肌纤维排列的调整创造稳定的力学环境。按摩珠的旋转与振荡运动形成复合力学刺激，沿肌纤维走向施加定向牵拉力与周期性叩击力，可有效牵拉紊乱的肌纤维重新趋于有序排列，减少肌纤维间的交叉、缠绕与摩擦阻力。驱动单元通过振动旋转层实现动力的精准传递，使按摩珠的运动轨迹与肌肉纹理保持高度一致，提升干预的靶向性与深度。肌纤维排列的优化可显著降低肌肉收缩过程中的内部能耗，提升肌肉力学效率，加快疲劳恢复，对久坐办公、久站作业及运动后人群的肌肉功能维护具有重要价值。

2.3 肌筋膜张力的动态调节

肌筋膜作为包裹并连接肌肉的致密结缔组织网络，其张力状态直接影响肌肉的滑动效率与整体柔韧性。长期久坐、久站或运动后恢复不足，会使肌筋膜处于持续紧张或局部粘连状态，限制肌肉伸展幅度，引发牵拉痛与活动受限。按摩珠的旋转与振荡动作通过周期性力学加载，对肌筋膜施加节律性牵伸与剪切刺激，促进筋膜胶原纤维重新排列，提升其延展性与弹性，从而有效降低筋膜张力。加热模块提供的恒温热敷可进一步增强筋膜基质中黏弹性成分的流动性，改善筋膜与肌纤维之间的润滑条件，减少粘连点的机械阻力^[3]。控制模块可根据不同使用者的耐受度与筋膜张力水平，实时调节按摩强度与加热温度，实现个性化、动态化的张力调控，避免因单一刺激强度导致的不适或过度刺激，为肌筋膜系统的放松与恢复提供更稳定、更安全的生物力学环境。

3 旋转振动刺激对血液循环的生物力学调控

3.1 血管流体力学环境的改善

按摩珠的旋转与振荡运动可对小腿区域血管施加节律性压迫与舒张作用，形成类似“肌肉泵”的生物力学驱动机制，有效促进静脉血回流并调节动脉血流分布。凳腿展开后，凹陷承托面将小腿抬升至接近或略高于心脏的位置，借助体位优势降低静脉回流阻力，使血管内压力梯度更利于血液流动。在此基础上，按摩珠的复合力学刺激进一步改变局部血流速度与剪切应力分布，减

少血流停滞与涡流形成，提升毛细血管灌注效率。周期性压迫还可促使血管内皮细胞释放一氧化氮等舒血管因子，改善血管顺应性与弹性，使血流动力学环境更趋稳定。同时，力学刺激可促进组织间液流动，加快代谢产物清除，进一步优化微循环环境。力学刺激与体位优化的协同作用显著增强小腿血液循环动力，有效改善肌肉组织的微循环灌注，为代谢产物清除、营养供给及肌肉功能恢复提供更优的流体力学条件。见图3所示：

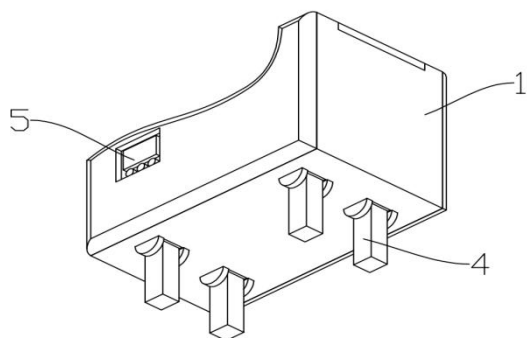


图3 便携式小腿按摩凳下侧视立体结构示意图

3.2 热敷协同下的血液循环增强

按摩凳的柔性加热模块通过恒温输出持续提升小腿局部组织温度，使血管平滑肌逐渐舒张，动静脉血管管径随之适度扩张，有效降低血流阻力，为血液循环改善奠定重要生理基础。温热作用还能增强红细胞变形能力，降低血液黏稠度，改善血液流变特性，使血液在血管内的流动更加顺畅。在热敷营造的良好血流环境基础上，按摩珠的旋转与振荡进一步施加周期性力学刺激，通过“挤压—放松”的循环作用加快静脉回流与动脉灌注，促进血液在肌纤维间隙及毛细血管网络中的微循环流动。加热模块采用柔性电热结构，热量分布均匀，可覆盖整个小腿按摩区域，避免局部温度波动对血液循环调控效果产生干扰^[4]。热敷与力学刺激的协同作用，使血管扩张、血流加速与血液流变特性改善同步发生，显著提升小腿区域的血液循环效率，为肌肉组织的代谢废物清除、营养供给及疲劳恢复提供更稳定、更持久的生理支持。

3.3 血液动力学参数的优化变化

旋转振荡刺激通过周期性机械加载作用于血管壁，可有效调控血管弹性与顺应性，促使血液动力学参数发生适应性优化。控制模块能够根据使用者需求精准调节按摩珠的运动频率、振幅及加热功率，使力学刺激与温

热效应形成协同增强的干预模式，从而提升整体调控效果。研究数据表明，持续的复合刺激可显著提高小腿动脉血流量，降低血流脉动指数，使血管壁剪切应力分布更加均匀稳定。这种优化的血流动力学状态有助于减少血管内皮损伤风险，改善肌肉组织的氧气与营养物质供给，为肌肉放松与功能恢复提供持续的生理支持。同时，加热模块带来的温度升高可进一步降低血液黏稠度，增强红细胞变形能力，使微循环灌注更加顺畅。设备的便携化设计则使这种血液动力学调控效果能够在办公、车载、居家等多种场景中稳定实现，为久坐、久站及运动后人群提供高效、便捷的肌肉养护方案。

4 结语

本文从生物力学维度系统剖析了便携式小腿按摩凳中按摩珠旋转振荡对小腿肌肉放松的作用机理。研究发现，按摩珠的旋转及振荡运动借由复合力学刺激，可切实减轻肌肉僵硬、规整肌纤维排列、调控肌筋膜张力；同时通过改善血管流体力学环境、提升血液循环效能，为肌肉放松构建力学与生理双重保障体系。设备的凹陷承托面构型保障力学刺激的精准传导，加热模块强化协同干预效果，凳腿的便携构型拓展了应用场景适配范围。未来可通过优化按摩珠力学参数、调控振荡频率与旋转速率的匹配关系，进一步提升设备的生物力学适配度；结合用户个性化需求升级控制模块功能，为使用者提供更高效、定制化的肌肉放松体验。

参考文献

- [1] 张宇, 吴建雄, 郭焰芳, 等. 多功能小腿按摩仪的设计与实现[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(28): 105-107.
- [2] 吴海燕, 茉莉人. 缓解肌肉疼痛和紧张泡沫滚轴全身按摩[J]. 健与美, 2021, (06): 48-53.
- [3] 公共场所按摩椅, 老人悠着点[J]. 江苏卫生保健, 2020, (10): 53.
- [4] 张琴, 郭燕霞. 肌内效贴与按摩疗法对延迟性肌肉酸痛缓解效果的比较[J]. 体育科技文献通报, 2020, 28(03): 136-138.

作者简介：邱志杰（1994—），男，汉族，新疆阿克苏市地区，研究方向为：运动力学。