

文章编号: 1004-7220(2023)05-1051-06

中医推拿手法生物力学研究进展

丁立军^{1a}, 吕杰^{1b}, 廖跃华^{1a}, 曹金凤², 徐军^{1a}, 张东衡^{1a}

(1. 上海健康医学院 a 医疗器械学院, b 康复学院, 上海 201318; 2. 上海大学期刊社, 上海 200444)

摘要: 中医推拿是以中医脏腑和经络学说为理论基础,通过不同手法作用于人体体表特定部位,对机体生理和病理状况进行调节,以达到治疗目标的方法。对中医推拿手法进行生物力学研究,可揭示手法的生物力学机制,对手法的规范化、标准化以及手法的创新发展具有重要意义。本文从推拿手法描述、动力学分析、推拿力效应以及手法对比分析几个方面对推拿手法的生物力学研究进展进行综述,以期对中医推拿相关领域的后续研究提供借鉴。

关键词: 中医推拿; 推拿手法; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.05.030

Research Progress in Biomechanics of Manipulation for Traditional Chinese Massage

DING Lijun^{1a}, LÜ Jie^{1b}, LIAO Yuehua^{1a}, CAO Jinfeng², XU Jun^{1a}, ZHANG Dongheng^{1a}

(1a. Medical Instrumentation College, 1b. College of Rehabilitation Sciences, Shanghai University of Medicine & Health Sciences, Shanghai 201318, China; 2. Periodicals Agency of Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Chinese massage is a method based on the theory of viscera and meridians of traditional Chinese medicine, which regulates the physiological and pathological conditions of the body by applying different techniques to specific parts of body surface to achieve the therapeutic purpose. The study on Chinese massage can reveal the biomechanical mechanism of manipulation, and it is of great significance to normalization, standardization and innovation of manipulation of massage. This review summarized the biomechanical research progress of Chinese message from the aspects of description, dynamic analysis, massage force effect and comparative analysis of manipulation, in order to provide references for follow-up researches in the related fields of traditional Chinese massage.

Key words: traditional Chinese massage; manipulation of massage; biomechanics

中医推拿手法种类繁多且疗效肯定,在多种疾病的治疗中得到了广泛的应用。但中医推拿作为一种传统治疗方法其本身还存在着诸多问题。例如:在各种推拿手法的描述中存在着一定程度的概念模糊甚至歧义;各种手法的生物力学机制尚不十

分明确;对操作者水平的评估也缺乏系统、统一的评判标准。这些不确定性因素极大制约着推拿学科的进一步发展。

中医推拿手法的生物力学研究是对推拿手法的运动学、动力学和生物力学效应等方面开展研

收稿日期:2023-02-09; 修回日期:2023-03-12

基金项目:国家自然科学基金项目(82074571)

通信作者:吕杰,副教授,E-mail:lvj@sumhs.edu.cn

究,以期推进推拿手法的量化描述和规范定义,并为不同推拿手法的机制研究以及操作者水平评估和比较提供理论和实验依据。本文对中医推拿手法生物力学领域相关研究成果进行分析和综述,旨在为促进中医推拿手法生物力学研究的科学发展提供参考。

1 手法描述

1.1 手法的运动描述

推拿手法的运动和力学特征是区分不同手法的重要特征之一。在手法的运动描述方面,除了少数手法对施术者自身动作有一定的量化描述外^[1],手法的运动学研究最早是借助空间坐标系对推拿施术者与受术者身体接触点3个坐标轴的运动以及施力的方向与频率进行分析和描述^[2]。该描述是对推拿手法的运动和力的定性分析,尚缺乏相关参数的定量分析。在进一步的研究中,有研究者在施术者手部不同部位粘贴标记点,采用动态捕捉系统对手法操作过程进行采集,并对推拿动作的频率、运动幅度、标记点位移、标记点速度、手部旋转角与时间的关系等进行分析和研究^[3-6]。该项研究对手法的动作进行了多参数的定量分析,但缺少手法的量化评价指标。在手法的定量评估方面,周信文等^[7]通过建立推拿手法测量三维坐标系,从不同角度拍摄手法的操作过程,记录各关节运动与合力作用点轨迹并进行分类研究,并根据所测轨迹形状对操作手法进行量化研究和评价。另外,国内很多学者对颈腰椎的旋转、拔伸类手法的运动轨迹及运动学参数也进行了研究,并取得一定进展^[8-10]。

1.2 手法力的描述

中医推拿手法力的描述通常借用手法力的大小、方向、作用点以及手法力的施力时间、频率和稳定性等参数加以表征,这些参数的变化都会对手法的治疗效果产生影响。对施术者手法力的测量最早是通过 Ergocheck 通用压力测试系统进行单一垂直力的测量^[11],由于通常的推拿手法是多维面型力,单一方向手法力的测量难以完整地表述手法力所有要素。在多维力测量方面,秦杰等^[12]在测力平台和施力手掌处分别设置多个三维力传感器和压力传感器,实时测量滚法操作过程中手掌各作用点作用力的大小和方向并通过数据和图形进行定量

描述,但该研究对在专用设备上测量的手法力与实际推拿力的一致性并没有加以分析和验证。基于此,有研究者对施术者手法力的在体测量也开展了研究。朱立国等^[13]将三维加速度传感器和压力传感器安装在自制袖套上,并分别固定在操作者前臂背侧和内侧近肘关节处,测量出颈椎旋转手法操作过程中的最大作用力、扳动力、扳动时间、预加载力和最大加速度等数据,实验结果显示,颈椎旋转手法的扳动力与预加载力之间有一定的联系。手法力是具有分布特性的面力,手法力的分布特性可通过对不同作用点的力进行采集和分析加以研究。有研究者将微型压力传感器安装在施术者手部特定部位上,对颈部和腰部旋转手法作用过程中术者左右手特定节段的最大推扳力进行采集和统计分析^[14-15]。

2 手法的动力学分析

2.1 肌电信号的采集与分析

从施术者角度对手法力产生的来源,如内部关节力、肌肉力等动力学要素进行研究,是揭示推拿手法生物力学机制的重要手段。在手法肌肉力的实验分析中,最早采用皮肤表面电极法测试了一指禅推法、滚法、振法等手法操作时上肢肌肉运动的时间空间序列^[16],研究发现一指禅推法力主要由肱二头肌、肱三头肌产生;滚法则加入了前臂的旋前旋后肌群;振法主要在屈腕肌群支配下由前臂伸屈腕肌群和三角肌的部分肌群参与的结果。有研究者将采集的肌电信息与手法运动特征相结合进行了研究,通过数字摄影、测力平台和肌电传感器等装置采集手法的生物力学信息,结合肌电传感器的波幅、频率、时序信息和手法的运动分析,得到了滚法操作各个阶段、不同肌肉间的协同关系和动作特征,并对滚法技术动作进行了描述^[17-18]。但该研究对关节力(矩)和能量分布等动力学参数缺少计算和分析,还不能完整描述手法力产生的机制。

2.2 生物力学建模与分析

通过建立生物力学模型进行分析和研究是揭示手法力来源的重要途径之一。陈守吉等^[19]建立由3个刚体附加铰链构成的手臂多刚体生物力学模型,模型在不同节段的连接处采用弹簧和阻尼器代替肌肉和韧带的作用,通过运动学和动力学分

析,导出了手法的动力学方程。但研究仅给出了方程符号式和形式解,未对具体的推拿手法案例进行运动和动力学实验分析。方舟等^[20]基于柱-刚杆模型建立推拿滚法的简化生物力学模型,对手部关键部位的受力进行定量分析,探索滚法手部关节无创情况下的受力规律。吕杰等^[21]以肘关节为支点,包含前臂、腕关节、拇指掌指关节、拇指指间关节在内,以大拇指指端无滑移为约束的一指禅推法多刚体生物力学模型。采用摄像技术采集运动学数据,利用测力分析仪采集作用力数据,通过计算得出各主要关节对节段的作用力。多刚体生物力学模型主要考虑了骨骼的运动及关节对骨骼的作用力,较少考虑肌肉对骨骼的作用力以及对手法操作的影响,因此仅可做定性参考,尚缺乏精确的定量描述。

基于虚拟仿真软件构建生物力学模型进行人体运动学和动力学分析,近年来在生物医学领域得到了广泛的应用。在推拿手法的生物力学分析中,卢群等^[22]通过螺旋 CT 扫描成像技术对推拿施术者上肢进行扫描,提取上肢三维模型信息在 Opensim 软件中构建了上肢生物力学模型,并对摆动类推拿手法进行运动学和动力学分析,该研究将虚拟建模和分析工具应用到中医推拿手法的生物力学研究中,但并未给出具体的案例分析过程和结论。

3 手法的力量效应分析

3.1 力效应的测量与模型分析

受术部位的力学效应是推拿手法治疗效果的重要考量。在对受术部位推拿力的测量中,对受术部位所受作用力的直接测试与分析是最先采用的方法。房敏等^[23]运用聚偏氟乙烯传感器及配套设备从不同颈椎施力点、不同横截面及节段几个方面对颈部拔伸法的拔伸力度和应力分布进行研究,发现手法作用效应主要基于对颈椎后部结构,尤其是颈后部伸肌群的调整,而且小角度前屈操作的疗效最为显著。侯筱魁等^[24]采用电-机械测量法分析了斜扳法动作对下腰椎后部结构的影响。研究显示,斜扳法是一种包含了腰椎旋转、前屈、侧弯等动作的空间 6 自由度运动,正确的手法具有调整神经根管容积、松动上下关节突、松解黏连、改善局部循环等效果。

建立力学模型是对复杂系统进行力效应分析的重要方法。豆梦琳等^[25]将椎体假设为刚体,将椎间盘和周围韧带等软组织看作是连接刚体的弹簧和阻尼器,建立 6 自由度质量-弹簧-阻尼系统腰椎生物力学模型,对传统斜扳法(脉冲法)和改良斜扳法(振荡法)在不同程度腰椎退变治疗上进行比较分析。研究结果显示,采用频率不超过 1 Hz 简谐激励改良斜扳法治疗效果优于脉冲激励传统斜扳法,且减少了损伤。由于在腰椎疾病的治疗中推拿斜扳疗法的生物力学机制十分复杂,目前的模型将椎间盘模拟为线性弹簧和线性阻尼器,未考虑腰椎之间的扭转刚度等因素(包括扭转刚度与切向弹性、阻尼系数之间可能存在的耦合关系),与真实情形尚有一定差距。

有限元分析方法在推拿生物力学研究中也得到了广泛的应用。有研究者通过有限元分析对拔伸按压手法作用下退变腰椎节段的应力变化特点、载荷递增的过程中退变腰椎节段应力变化量效关系以及拔伸按压手法对退变腰椎节段力学调衡作用机制进行研究^[26-27]。然而上述研究对于肌肉和韧带等软组织的功能和力学模拟容易产生偏差,存在一定局限性。桂志雄等^[28]将倒悬旋转手法的各项力学参数代入腰椎 L4~5 三维有限元模型进行研究,发现在倒悬旋转手法操作过程中腰椎中的应力分布不均容易造成终板受损,故建议手法操作时旋转的角度不宜过大。毕胜等^[29]比较了牵扳手法和坐位旋转手法对椎间盘髓核内压力、内外层纤维环应力的影响,认为两种手法均可造成椎间盘后外侧与神经根之间的移动。椎间盘的压力大小是对手法安全性的重要考量。田强等^[30]构建了 L4~5 节段腰椎模型,并通过有限元分析对提拉旋转斜扳法对椎间盘应力及应变的影响进行研究。研究结果显示,手法操作中纤维环后外侧有较明显的应变,应力主要集中于后侧关节突而椎间盘的应力变化较小,提示了手法的安全性和有效性。

在利用有限元方法对推拿手法进行力学分析时,对处于患病或退化状态下骨肌系统相应节段的属性参数通常参考健康人或文献中的参数进行设置,这一做法可能导致所设参数与实际情况不符,从而会造成实验结果的可信性不足。

3.2 手法的生理效应分析

推拿动作引起的受术部位肌电、神经电以及血液流量、疼痛等生理反应也是推拿手法生物力学效应的研究的内容之一。研究表明,当力作用于受术者肌肉上,相关联的肌肉感受器会受到刺激,由感觉神经纤维传到脊神经进入脊髓后角,经过感觉运动中枢反馈从运动神经传出信息,调节作用部位的肌肉和周围血管等一系列生理过程^[31]。在患者腰椎神经根处进行推拿,可发现腰椎减压手术能够瞬间刺激脊神经根,产生神经电生理反应^[32]。对腓肠肌处进行揉法操作时,在力量、频率、时间的三因素三水平正交试验中,当处于力量4 kg、频率120次/min、持续时间10 min时,腓肠肌腘动脉的平均血流量得到最大程度的增长^[33]。在颈椎旋转操作实验中,局部痛阈值和肌肉紧张度在推拿治疗前后会发生变化,随着患者临床症状的缓解、痛阈值的提高,颈部肌肉和软组织的紧张度明显改善^[34]。研究表明,手法的柔和性与手法操作时应力的分布均匀性、应力变化速度和大小等有着密切关系,而手法的柔和性可以用受术部位的组织形变程度来进行客观表述^[35]。推拿手法引起的受术部位生理反应是推拿手法力学效应的重要表现,但目前尚缺乏基于这些生理反应对推拿效果进行评估的具体指标和评价标准,探索并建立相应的评价指标和标准也是后续的研究工作之一。

4 手法的对比分析

推拿手法的对比研究是对不同操作者手法的差异化机制研究、手法水平测试与评价的基础,是推拿手法生物力学研究的重点领域之一。目前,时域和频域分析是手法对比研究的两种重要方法。在时域分析中,卢群^[36]通过建立3关节的多刚体运动模型和逆向运动学分析,对一指禅推法施术者的屈腕角度、尺挠偏差和肩关节外展等参数进行对比分析,建立了各节段和关节运动特性的参考数据,可为一指禅手法的考量和规范化操作提供参考。曾广南等^[37]采用Novel动态压力分布测量系统对推拿揉法操作进行测量,得到总压力中心轨迹、体压力和压强、压力峰型这3类参数的图形、数值和峰值特性用于对不同水平操作者的手法比对。Ryu等^[38]基于压力传感器和运动捕捉技术,对按摩颈肩

部时术者手部的压力模式和手指运动轨迹进行研究。结果表明,按摩时每块肌肉所受压力和施术者不同手指运动轨迹都不同,斜方肌承受更大压力、更长的按摩时间和更大的压力时间积分。在手法的频域分析中,王晓等^[39]对按摩师及初学者揉法操作的肌群表面肌电信号进行采集,通过对信号进行小波变换,研究频域范围内的能量分布状况。结果表明,揉法操作中,按摩师75%的能量集中在低频段,其中肱桡肌能量占总能量的40%,而初学者能量分布与之有显著差异。

手法的稳定性也是手法对比研究的关注点之一。吕杰等^[40]首先对中医推拿一指禅手法垂直作用力的均匀性进行数学描述,并对包含专家组、熟练组和初学组在内的3组实验对象进行手法垂直作用力的测试和数据分析,发现各组内的周期均匀性无显著差异,而初学组与专家组或熟练组间的波形均匀性有显著差异。该研究团队后续将样本熵和互样本熵分析方法应用到揉法垂直作用力信号的分析中,对不同类型操作者揉法垂直作用力信号样本熵随时间的变化特征、稳定性和差异进行分析^[41]。实验结果表明,揉法垂直作用力信号样本熵和互样本熵在评判揉法稳定性和相似性方面具有一定意义。

目前在手法的对比研究中主要集中在对手法的运动特征和手法力的大小、轨迹与稳定性的分析和研究上,尚缺少对手法动作机制的深入分析与研究。如何从手法运动、手法力、手法动作机制和稳定性评价等方面提取关键参数,建立手法比较与评价的标准和方法,也是后续的研究课题之一。

5 结论

本文从中医推拿手法的描述、手法动力学以及生物力学效应进行分析和研究,并从时域、频域描述以及手法稳定性等方面对不同操作者手法的对比分析进行了阐述。推拿力是一类典型的多维面型力,要求推拿力具有持久、有力、均匀、柔和、渗透等要素,将这些要素进行准确表述,需要对推拿手法进行多维动作位置、力度、角度、轨迹、频度等全要素进行定量测量,这对采集设备和实验手段提出了较高的要求。目前,推拿手法测量系统的传感器多以电阻应变片为主,且绝大多数测力系统的传感

器数量有限,与手法力的采集和测量要求还有一定的差距。新型力传感器的研发,尤其是在体测量传感器的研发和采集方法的创新是未来的发展方向之一^[42]。

现阶段,对不同水平操作者的生物力学分析主要基于手法的运动、手法力以及表面肌电数据进行,对术者骨骼肌肉系统内部的节段运动、肌肉力、关节力及力学效应的分析还比较薄弱。目前已有的多刚体模型还比较粗糙,只可做定性分析;基于术者人体骨肌系统的虚拟仿真研究目前开展较少,还不能完全揭示手法的生物力学机制;在手法力的有限元分析中,常因软组织材料属性和力学性能数据的缺乏而被简化或忽略,影响了模型构建的准确性。有限元分析的加载模拟目前仍停留在静态阶段,对手法操作过程的动态模拟还未完全实现,其分析结果还只能反映受术部位某一时刻、某一区域的力学特性,对人体的自我调节与适应能力没有加以考虑,与实际情况还有一定的差距。这一现状阻碍了中医推拿手法的进一步创新和发展。

推拿手法的标准化研究以及基于不同水平操作者手法的对比和评价是推拿手法教育培训与定量考核的基础,也可以有效促进手法的进一步交流和推广。鉴于目前相关研究提出了一些对比方法,尚缺乏统一的推拿手法评价标准,故建立基于推拿手法生物力学特性(效应)全要素和关键参数的手法比较与评价方法也是后续的重要研究方向。

参考文献:

[1] 严晓慧,严秀陶,龚利. 浅谈中医推拿手法标准化的重要性[J]. 河南中医, 2009, 29(3): 242-243.

[2] 余顺年,马履中,郭宗和. 中医推拿手法运动学与动力学特征分析[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2005, 19(3): 82-85.

[3] 吕杰,曹金凤,方磊,等. 中医推拿滚法生物力学研究—手法运动学实测及分析[J]. 生物医学工程学进展, 2010, 31(3): 142-148.

[4] 杨国平,詹红生,贾晓航,等. 上肢抖法几个参数的测定[J]. 中国骨伤, 2000, 13(8): 474.

[5] 方磊,严隽陶. 一指禅推法技术要领的运动学分析[J]. 上海中医药大学学报, 2013, 27(2): 58-60.

[6] 洗思彤,于天源,刘卉,等. 掌振法运动轨迹的生物力学分析[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(10): 1084-1087.

[7] 周信文,许世雄,谢志勇,等. 中医推拿手法测力分析仪

FZ-I型的研制及滚法合力作用点轨迹分析[J]. 医用生物力学, 1996, 11(3): 179-183.

ZHOU XW, XU SX, XIE ZY, et al. Traditional Chinese medical massage manipulation monitor and analysis of resultant acting point locus [J]. J Med Biomech, 1996, 11(3): 179-183.

- [8] 郭鑫,于天源,刘卉,等. 颈椎拔伸法的操作特征及其运动学与动力学参数分析[J]. 上海中医药杂志, 2015, 49(10): 11-13.
- [9] 邓真,牛文鑫,王辉昊,等. 生物力学在中医骨伤手法治疗颈椎病中的应用[J]. 医用生物力学, 2015, 30(6): 569-573.
- DENG Z, NIU WX, WANG HH, et al. Biomechanics applied in traditional Chinese traumatology manipulation for treating cervical spine diseases [J]. J Med Biomech, 2015, 30(6): 569-573.
- [10] 张军,刘强,孙树椿,等. 基于退变腰椎间盘模型的旋转手法对椎体角度位移的影响[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2016, 24(5): 1-4.
- [11] 邱桂春. 常用推拿手法的力学测定及临床意义[D]. 广州: 第一军医大学, 2005.
- [12] 秦杰,赵鹏,刘家勇,等. 在体手法测量系统对滚法的生物力学分析[J]. 中医正骨, 2004, 16(12): 4-5.
- [13] 朱立国,冯敏山,毕方杉,等. 颈椎旋转(提)手法的在体力学测量[J]. 中国康复医学杂志, 2007, 22(8): 673-676.
- [14] 李义凯,邱桂春,徐海涛,等. 颈腰椎旋转手法拇指最大推扳力比较及量效关系的研究[J]. 颈腰痛杂志, 2004, 25(6): 379-381.
- [15] MARCOTTE J, NORMAND MC, BLACK P. Measurement of the pressure applied during motion palpation and reliability for cervical spine rotation [J]. J Manipulative Physiol Ther, 2005, 28(8): 591-596.
- [16] 周鑫,朱清广,孔令军,等. 推拿手法生物力学研究方法的基本方向[J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(3): 1120-1123.
- [17] 曾庆云. 滚法动作原理的运动生物力学研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2003.
- [18] 王晓. 按摩手法中肌电信号采集与分析[D]. 长春: 长春理工大学, 2013.
- [19] 陈守吉,许世雄,史一蓬,等. 中医推拿摆法类手法的动力学研究(1)生物力学模型及方程[J]. 医用生物力学, 1996, 11(2): 112-116.
- CHEN SJ, XU SX, SHI YP, et al. Dynamics analysis of traditional Chinese massage rolling manipulation [J]. J Med Biomech, 1996, 11(2): 112-116.
- [20] 方舟,吕杰,方磊,等. 中医推拿滚法手部受力的生物力学建模及分析[J]. 生物医学工程学进展, 2010, 31(4): 191-194.
- [21] 吕杰,曹金凤,方磊,等. 中医屈指推法的生物力学建模及分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(17):

- 3183-3186.
- [22] 卢群, 钱鑫, 田为军, 等. 摆动类推拿(擦法)的生物力学模型分析[J]. 中国医药科学, 2020, 10(9): 1-4.
- [23] 房敏, 严隽陶, 沈国权, 等. 颈部推拿拔伸手法的在体研究[J]. 颈腰痛杂志, 2000, 21(3): 200-203.
- [24] 侯筱魁, 董凡, 戴冠戎, 等. 斜扳时腰椎后部结构的动力观察和生物力学分析[J]. 中华骨科杂志, 1993, 13(1): 51-54.
- [25] 豆梦琳, 方舟, 周楠, 等. 中医斜扳疗法治疗腰椎间盘突出生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2013, 28(3): 304-309.
 DOU ML, FANG Z, ZHOU N, *et al.* Biomechanical study on oblique-pulling manipulation in traditional Chinese medicine for treating lumbar intervertebral disc protrusion [J]. J Med Biomech, 2013, 28(3): 304-309.
- [26] 张晓刚, 秦大平, 宋敏, 等. 拔伸按压手法对退变腰椎节段应力分布影响的有限元分析[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(10): 3108-3114.
- [27] DU HG, LIAO SH, JIANG Z, *et al.* Biomechanical analysis of press-extension technique on degenerative lumbar with disc herniation and staggered facet joint [J]. Saudi Pharm J, 2016, 24(3): 305-311.
- [28] 桂志雄, 严金林, 严斌, 等. 倒悬旋转手法时腰椎各结构的应力分布[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(4): 785-787.
- [29] 毕胜, 张德文, 张明, 等. 模拟腰部推拿手法三维有限元模型分析[J]. 军医进修学院学报, 2002, 23(1): 67-69.
- [30] 田强, 钟侨霖, 赵家友, 等. 提拉旋转斜扳法操作时腰椎椎间盘应力及应变的有限元研究[J]. 中国临床解剖学杂志, 2019, 37(1): 83-86.
- [31] 孙筱, 李靖. 运动学习与控制理论在中医推拿手法研究中的应用进展. 中国康复医学杂志, 2013, 28(1): 90-92.
- [32] COLLOCA CJ, KELLER TS, GUNZBURG R. Biomechanical and neurophysiological responses to spinal manipulation in patients with lumbar radiculopathy [J]. J Manipulative Physiol Ther, 2004, 27(1): 1-15.
- [33] 张宏, 马惠升, 门志涛, 等. 推拿擦法的动力学参数优化研究[J]. 上海中医药杂志, 2006, 40(9): 68-67.
- [34] 王立恒, 孙树椿, 陈朝晖, 等. 手法治疗颈椎病的在体力学测量[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2009, 17(3): 22-24.
- [35] 裴旭海. 推拿手法柔和性的生物力学机理探讨[J]. 按摩与导引, 2000, 17(2): 2-4.
- [36] 卢群. 一指禅推法生物力学模型设计及其运动学特性研究[D]. 长春: 长春中医药大学, 2014.
- [37] 曾广南. 滚法推拿作用的动态压力特征研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2012.
- [38] RYU JS, SON JS, AHN SJ, *et al.* Biomechanical analysis of the circular friction massage [J]. Technol Health Care, 2015, 23(S2): 529-534.
- [39] 王晓, 王丽荣, 宋雅娟, 等. 基于小波变换的推拿手法肌电信号分析[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2013, 31(5): 255-259.
- [40] 吕杰, 曹金凤, 马龙龙, 等. 中医推拿一指禅手法垂直作用力均匀性的量化研究[J]. 医用生物力学, 2012, 27(4): 456-474.
 LV J, CAO JF, MA LL, *et al.* Quantitative research on the vertical force homogeneity of Yizhichan manipulation [J]. J Med Biomech, 2012, 27(4): 456-474.
- [41] 吕杰, 徐军, 刘杨, 等. 中医推拿擦法手法稳定性和相似性量化评价的方法研究[J]. 上海中医药大学学报, 2021, 35(2): 32-37.
- [42] 王汉熙, 郑晓钧, 胡佳文, 等. 中医推拿数字实现的关键科学问题[J]. 武汉理工大学学报, 2016, 38(2): 111-117.