

针刺机器人在针刺定量研究中的应用探索

徐天成¹, 卢东东², 韩旭³, 杨晓媛³, 贾卜宇², 孙建华^{*}

(1. 南京中医药大学附属医院, 江苏省南京市汉中路 155 号, 210029; 2. 南京理工大学; 3. 南京中医药大学第二临床医学院)

摘要 针刺疗效在国际上存在争议, 其重要原因之一是针刺刺激量的不确定性。国内已有关于针刺刺激量的定量研究, 但由于影响针刺刺激量的相关因素很多, 且针刺刺激量的判定存在一定的主观性, 目前研究尚未能形成针刺定量的相关标准。在分析国内外针刺定量研究的基础上开发的针刺机器人, 可实现对快速进针和捻转操作及在限制位置停止的要求, 且有多重措施来保证进针位置的准确。该针刺机器人具有精确化定量控制的特点, 更适用于动物实验, 可有效提高针刺操作客观性及针刺研究的可重复性。认为其是促进针刺标准化, 尤其是针刺实验研究标准化的可行方案。

关键词 针刺机器人; 得气; 定量研究

针刺的疗效在国际上一直存在较大争议, 如美国医学会杂志发文称, 针刺治疗中、重度的慢性膝盖疼痛的效果等同于安慰剂^[1], 《科学美国人》提出针刺是“超级安慰剂”^[2]。目前国内关于针刺疗效的临床研究难以得出获得国际公认的结论, 其部分原因在于传统针刺讲究“得气”并以其作为判断疗效与预后的标准, 而得气一方面是指患者因针刺产生酸麻胀痛等感觉, 另一方面是指医者刺手感觉到的沉滞, 两者均有较强的主观性。国外对得气进行定性定量分析后认为得气是否与疗效相关存在争议^[3]。影响针刺疗效的相关因素很多, 包括针刺器具、进针方向与深度、行针手法、针刺时间、得气反应等。然而针刺操作的主观性较强, 得气感的体会主要在于针灸师的“手感”和患者的主观反馈, 故存在难以量化与标准化的问题。电针仪可通过控制电流强度、波形、频率对穴位进行定量的标准化刺激, 然而其标准化程度与有效性仍未充分得到国际认可^[4], 手法针刺的定量与标准化就更加困难。本文结合团队研发的针刺机器人, 讨论针刺定量研究的可行性与意义。

1 针刺定量研究的现状

国际针刺研究多采用多中心、大样本的临床研究设计, 严格随机分组, 人员分工明确保证互不知

情。因多方面因素, 研究克服主观偏倚较难^[5], 因此应将标准的、可量化的、稳定的针刺操作应用到针刺疗效评价研究中。2008 年中国针灸学会发布的《针灸技术操作规范》正式实施^[6], 2012 年的一项针对该标准应用的调查显示, 标准所指定的各项内容中个别操作规范使用率较低^[7]。鉴于针灸师个人针刺手法及进针深度、角度、方向等不尽相同, 按照规范操作的医者在得气的体会、手法操作细节上难以履行统一标准。本文通过对国内学者从针刺手法的速度、频率等物理量测定研究进行检索, 并对针刺的定量研究进行整理, 详见表 1。目前仅凭记录和分析手法数据尚未能行成具有循证医学意义的针刺定量标准。

2 针刺机器人的开发

鉴于上述分析, 为了更好地对针刺刺激量进行定量以满足临床及实验研究的需求, 我们团队开发了针刺机器人。

2.1 针刺刺激量的确定

针刺刺激量与临床疗效间有紧密的量效关系。多数针灸随机对照试验报告中, 针刺刺激量常包括: 1) 疗程情况: 针刺频次, 针刺总时间等; 2) 刺激量: 主要记录单次留针时间或电针强度等; 3) 针感: 针刺定量主要包括分类、分级、记时三要素。分类主要指局部性针感和放射感(可理解为针刺引发的远端效应), 分级即由患者按针刺时的感觉强度选择视觉模拟评分法评分标记, 记时即

基金项目: 国家自然科学基金(81473748); 教育部 2016 年国家级大学生创新创业训练计划项目 教高司函(2016)45 号

* 通讯作者: drjhsun@sina.com

表 1 国内针刺定量研究情况

研究者	主要技术	核心设备	观察对象	定量结果	意义
刘堂义等 ^[6]	标准 RS-232 串行口通讯技术	换能器	提插、捻转、摇摆等手法动作	变为表达波幅、频率、周期的电信号	侧重于手法动作的定量记录
刘延祥等 ^[6]	数字化虚拟人力反馈针刺手法技术	VOXEL-MAN 汉堡数字化人体技术、Omega3dof 力反馈装置	不同角度进针手法	把数据传递到力学感受器转换为信号	以虚拟现实和力反馈的方式表现针刺过程中穴位各层组织结构
杨华元等 ^[6]	电阻传感器技术、RS-232 标准串行通讯方法	ATP-I 型、ZFG-A 型针刺手法参数测定仪, 针刺手法信息分析系统	单式补泻手法	准确反映针刺手法操作过程中的物理参数并两两比较	全面提供针刺手法操作信息的处理方法
洪文学等 ^[11]	模糊划分与混沌处理结合	外围接口控制单片机	补泻手法	转化为电信号参数域	适用临床穴位针法刺激和经穴穴位神经电刺激
李靖等 ^[13]	针刺基本手法操作行为量表	无	针刺基本手法	将操作细节转为量表	用于针刺手法操作水平的定量评估
顾星 ^[13]	微电机传感技术	专利针刺手法测试仪	提插、捻转手法	将提插捻转速度、力的变化转为电流信号, 描记为波形	为课堂教学提供教具
丁光宏等 ^[14]	集成电路技术、生物力学原理	施术者和受针者相互作用力的检测系统	均匀捻转、均匀提插、捻转补泻、提插补泻	针体拉压力、扭转力矩的波形和数值的定量记录	在人体活体上测试各种针刺手法
郭彦 ^[15]	A/D 转换、自适应滤波、串口通信、AR 模型参数	以 TMS320VC5509A 处理器为核心的信号采集系统	提插、捻转手法	针刺手法波形转为幅度谱、功率谱 AR 模型参数	针刺手法量化, 指导医生治疗和学生学习

按针感的时间段记录针感的延续时间等^[14]。各种针刺手法从性质上属机械性刺激, 刺激参数主要是与针机械运动相关的位移、时间、加速度和力等物理量的变化有关^[17]。一般来说, 每次针刺施术分透皮、进针、施加手法、起针四个阶段, 而起主要治疗作用的以施加手法阶段为主。目前临床常用的毫针针刺手法, 可视为提插和捻转两个动作的复合叠加, 再考虑到针具的粗细与进针深度及刺激时间的因素, 初步给出如下定义: 针刺刺激量 = 针具横截面积 × 提插幅度 × 捻转幅度 × 刺激时间。针具的规格直接决定了针具横截面积的值, 则在针刺时间和针具一定的情况下, 每一次治疗中临床实际的针刺刺激变量主要是提插幅度和捻转幅度。

2.2 针刺机器人的设计与特点

目前针刺机器人多为架式结构, 且机械手多采用半自动的方式, 即先手动夹取针具和棉签, 固定位置后, 利用架式结构进行进针操作, 难以模拟针刺手法。还有部分设计采用特制的自动进针机构, 复杂的机械结构出错率高且时效性差。达芬奇机器人是目前医疗行业公认最成功的外科手术机器人, 其实用、安全, 并可有效缩短术后恢复时间^[18]。值得注意的是, 达芬奇系统中的机械臂并非完全仿照人类的五指进行设计, 而是通过一组二指的机械手模拟人手的功能, 因而针刺机器人中, 也更注重模仿医师刺手、押手的作用而不是一味地模仿人手的完整形态。

本团队开发的针刺机器人, 其核心部件是一台机械手臂, 通过六个舵机控制进针时机机械手的位置, 实现六个自由度的控制, 即机械手基本可对范围内任何位置任何角度的目标操作, 实用性强。底层圆台舵机可左右旋转, 自动夹持针具和棉签。夹爪附近的舵机实现捻转操作, 操作时匀速从所处 0° 基准位置旋转到左侧 120° 的位置, 后旋回基准位置, 向右进行同样操作。其余舵机主要控制针刺角度。夹爪内侧贴有软面硅胶薄层, 既保证夹取时针具不滑动, 又可保证数字舵机夹爪的过载力度。针刺操作中, 破皮要求较高的速度。研究^[19]显示, 以合谷穴为例, 进针 5 mm, 设开始时针尖距离皮肤 10 mm, 据人体手背皮肤厚度为 (1.05 ± 0.37) mm^[20], 得到快速进针的平均速度为 8.26 mm/s。目前国内较新式的方案利用汽缸运动, 通过活塞杆推动推针器将针具推送至目标点位^[21], 或以丝杆螺母结构完成电动进针运动^[22-23]。本设计采用后者实现快速进针, 设计最大进针速度为 160 mm/s。步进电机带动丝杆运动, 丝杆上联动由竖杆和连接件固定的螺母, 步进电机旋转带动丝杆结构的上下移动, 控制步进电机转速调节进针速度。进针要求破皮速度很高, 而破皮后需速度减慢, 故对步进电机采用加减速控制, 在针尖距离皮肤 1.5 mm 时步进电机启动加速过程, 通过程序控制使破皮时速度达到最

大,之后通过减速直至停止。停止后步进电机来回正反转,实现提插针具的操作,舵机转动带动夹爪实现捻转操作。该设计结构简单,可实现快速进针和捻转操作及在限制位置停止的要求,且有多重措施来保证进针位置的准确。其中,夹爪内侧夹合处上沿放置测量进针阻力的应变片,夹爪下方是放置针具的孔型夹盘,其每孔的直径对应针具针尖直径,将针插进去后可使针头直立且保持对基准地面距离相同。在进行进针阻力测量时,控制机械夹爪位置,使针端正好顶在应变片所在的结构处即可测出针穿过皮肤、脂肪、肌肉以及骨骼时不同的应变;通过测量数值联动光电传感器限位开关来保证机器自动针灸的安全性。

3 针刺机器人的应用与优势

3.1 精确化定量控制,提高针刺操作客观性

用机械手臂进行的针刺研究排除了人手进行针刺操作时因操作者心理状态、患者不良反馈等导致的误差,进针速度、深度、提插和捻转幅度均是可定量输入并确定的刺激指标,可相对直观地确定施加的针刺刺激量,结合对疗效的评估可用于观察针刺的量效关系。

3.2 与实验动物体型数量级匹配,更适用于动物实验

在针灸相关的动物实验研究中,长期困扰研究者的一个问题是对小鼠等动物使用专门用于人体的针具,由于其数量级的巨大差异,使得将动物实验结果推广到人体产生了困难。从物理学角度而言,对小鼠施加原本作用于人体的针刺操作,其力度、针刺深度等远大于同比例条件下应受到的刺激。而针刺机器人的出现,将有效解决这一困难。

3.3 提高针刺研究的可重复性,促进针灸标准化

前文所述多种因素导致了针刺研究的可重复性较低,而基于针刺机器人的研究则减少了人的主观因素。借助针刺机器人可以按照国家标准经穴定位和穴位处方实施研究,并给子经由同一程序定制的个体化针刺强度,有效排除人为因素对针刺研究的影响。

4 不足与展望

使用针刺机器人进行针刺研究是一个全新的设想,存在以下问题:1) 初创成本较高:初级版针刺机器人治疗范围局限、功能有限,实现全身穴位自动化定位和针刺的升级产品成本会进一步增加;2) 行业标准空白:针刺治疗属于介入性手段,国

内尚无配套医疗行业标准;3) 安全措施有限:需按受体皮脂厚度等因素制定更详细的个体化针刺程序,增加超声传感器、力学传感器等提高自动针刺的安全性;4) 针刺是一种由操作者主导的医疗行为,医患的交流与互动是其不可分割的一部分,针刺机器人并不能完全模拟医者的行为,产生等同的效应。因此,短期内其主要应用方向是针刺研究中的实验动物。此外,值得思考的是,针刺的刺激是否能够简化为单纯的物理刺激?机器人和医者操作存在什么差异?这些都是今后研究中需要进一步探讨的问题。

参考文献

- [1] HINMAN RS, MCCRORY P, PIROTTA M, et al. Acupuncture for chronic knee pain: a randomized clinical trial [J]. JAMA, 2014, 312(13):1313-1322.
- [2] INTERLANDI J. Research casts doubt on the value of acupuncture [EB/OL]. (2016-08-01) [2017-01-01]. <https://www.scientificamerican.com/article/research-casts-doubt-on-the-value-of-acupuncture/>.
- [3] ZHOU W, BENHARASH P. Significance of "Deqi" response in acupuncture treatment: myth or reality. [J]. J Acupunct Meridian Stud, 2014, 7(4):186-189.
- [4] 张世平. 电针操作标准化存在的问题及建议 [J]. 长春中医药大学学报, 2012, 28(4):582.
- [5] 景向红, 劳力行, 刘保延, 等. 世界针灸邂逅中国针灸 [N]. 中国中医药报, 2014-09-11(4).
- [6] 齐兰, 易文军. 国家标准针灸技术操作规范正式实施 [J]. 中国针灸, 2008, 28(8):610.
- [7] 王娜娜, 王艺同, 李桂兰, 等. 国家标准: 针灸技术操作规范临床适用性调查报告 [J]. 辽宁中医杂志, 2012, 39(10):2041-2043.
- [8] 刘堂义, 杨华元, 李俊, 等. "针刺手法信息分析系统"的开发与应用 [J]. 针刺研究, 2008, 33(5):330-333.
- [9] 刘延祥, 严振国, 邵水金, 等. 数字化虚拟人力反馈角度的针刺手法研究思路 [J]. 时珍国医国药, 2009, 20(9):2292-2294.
- [10] 杨华元, 顾训杰, 王志煜. 针刺手法参数分析仪研制及其应用 [J]. 上海针灸杂志, 1991, 22(3):35-36.
- [11] 洪文学, 陈亮, 景军. 一种具有传统中医针刺补泻手法的新型智能电针仪设计 [J]. 北京生物医学工程, 2006, 25(6):586-589.
- [12] 李婧, WU MX. 针刺操作技术标准化考核之构想: 来自欧美外科技术定量评估的启示 [J]. 针刺研究, 2011, 36(6):449-452.
- [13] 顾星. 中医针刺手法教学测试仪的研制 [J]. 中国针灸, 2001, 21(4):229-230.
- [14] 丁光宏, 沈雪勇, 陶岳辉, 等. 中医针刺过程中针体受

- 力的动态监测系统研制 [J]. 生物医学工程学杂志, 2003, 20(1): 121.
- [5] 郭彦. 中医针刺手法量化研究及其测量系统开发 [D]. 广州: 广东工业大学, 2011.
- [6] 屠健如. 定量描述针刺刺激量及其效应的规则 [J]. 中国针灸, 2012, 32(4): 363-366.
- [7] 李一平. 应用于针灸研究的人体穴位模型及针灸模拟检测系统 [D]. 天津: 天津大学, 2007: 2-26.
- [8] TOKER A, AYALP K, UYUMAZ E, et al. Robotic lung segmentectomy for malignant and benign lesions [J]. J Thorac Dis, 2014, 6(7): 937-942.
- [9] YIN CS, KIM JH, PARK HJ. High-velocity insertion of acupuncture needle is related to lower level of pain [J]. J Altern Complement Med, 2011, 17(1): 27-32.
- [20] 高学书, 何清濂, 章惠兰, 等. 我国成年男性 30 个不同部位的皮肤厚度 [J]. 第二军医大学学报, 1980(3): 96-98.
- [21] 李金斌. 一种针灸针进针器: CN205307387U [P]. 2016-06-15 [2017-01-01].
- [22] 曹莹瑜, 刘嘉森, 王少贤, 等. 医用经皮穿刺机器人自动进针机构设计 [J]. 北京石油化工学院学报, 2012, 20(3): 40-44.
- [23] 李鹏. 介入治疗嵌入式进针控制系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.

Exploration of Acupuncture Robot Application in Acupuncture Quantitative Study

XU Tiancheng¹, LU Dongdong², HAN Xu³, YANG Xiaoyuan³, JIA Boyu², SUN Jianhua¹

(1. Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing, 210029; 2. Nanjing University of Science and Technology; 3. Second Clinical Medical School, Nanjing University of Chinese Medicine)

ABSTRACT There is controversy regarding acupuncture effect internationally. One of the important reasons is the uncertainty of acupuncture stimulating quantity. There is some domestic quantitative research about acupuncture stimulating quantity. Since there are a lot of correlative factors influencing acupuncture stimulating quantity and there is certain subjectivity on deciding the acupuncture stimulating quantity, related standards of acupuncture quantity are not formed yet by present researches. Based on analyzing domestic and international acupuncture quantitative studies, the authors develop an acupuncture robot, which could implement the requirements of operating quick needling & twirling and stopping at limit positions. Besides, there are several measures to ensure the accuracy of the needle insertion. This acupuncture robot has the characteristics of accurate quantitative control, which is more suitable for animal experiment and may improve the objectivity of acupuncture manipulation and the reproducibility of acupuncture research. The authors think that the robot is a feasible program to promote the standardization of acupuncture, especially the standardization of acupuncture experimental research.

Keywords acupuncture robot; arrival of Qi; quantitative study

(收稿日期: 2016-09-27; 修回日期: 2016-12-26)

编辑: 焦爽

特色王氏热透灸免费公益培训

一、王氏热透灸的特点

1. 药艾条直径 4 cm, 长 10 cm, 单根最长可燃烧 3 个小时, 可以多根并用 (3—16 根) 燃烧温度高达 500 余度; 2. 有专用灸器; 3. 无烟艾灸; 4. 大面积、短时间、近距离、高温、药力峻、强渗透、施用后即有灸感 (透肉、透筋、透骨); 5. 充分展现古灸大法四两拨千斤的太极功力。

二、该技术可应用于针灸康复科、疼痛科、肾病科、肿瘤科、治未病科等。

热透灸创始人王廷峰简介:

安徽省阜阳市东方针灸医院院长; 安徽省师带徒指导老师; 安徽省阜阳市颍淮基层名中医; 曾出版《扶阳化脓灸法》、《扁鹊灸法治顽疾》、《中国灸法》、在中国中医报连载化脓灸系列文章, 擅长化脓灸疗法、王氏热透灸疗法治病, 临床施灸均获良效。



扫码免费培训