

文章编号: 2095-2163(2021)04-0149-04

中图分类号: TP23

文献标志码: A

基于坐位调膝法的中医推拿机器人设计与研究

豆建生¹, 王殊轶¹, 陈俊¹, 龚利²

(1 上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院 推拿科, 上海 200041)

摘要: 本文针对膝关节骨性关节炎对中医推拿及保健康复设备的临床需求, 设计了一种基于中医推拿手法(坐位调膝法)的推拿机器人, 并对推拿机器人进行了仿真实验验证。仿真实验结果显示机械臂上下活动范围为0~20 mm, 机械臂上下旋转活动范围为0~19°, 机械手膝宽调节范围为0~20 mm, 水平运动的范围为0~140 mm, 均符合预期设计要求。仿真输出力范围为0~425 N, 满足治疗时的推拿力, 输出波形与医师推拿时的波形保持一致。研究结果表明, 利用推拿机器人代替推拿医师为膝关节骨性关节炎患者进行推拿治疗可行性高, 具有临床应用价值。

关键词: 膝关节骨性关节炎; 坐位调膝法; 中医推拿; 推拿机器人

Design and Research of Chinese Massage Robot Base On the Method for Adjusting Knee Joint in a Sitting Position

DOU Jiansheng¹, WANG Shuyi¹, CHEN Jun¹, GONG Li²

(1 School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2 Massage Department, Yue yang Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200041, China)

[Abstract] Aiming at the clinical needs of knee osteoarthritis for traditional Chinese medicine massage and health care rehabilitation equipment, a bionic massage robot based on traditional Chinese medicine massage technique (the method for adjusting knee joint in a sitting position) was designed, and a massage robot based on the method for adjusting knee joint in a sitting position is designed. A simulation experiment was carried out. The results of simulation experiments show that the range of up and down movement of the manipulator is 0~20 mm, the range of movement of the manipulator is 0~19°, the adjustable range of the knee width of the manipulator is 0~20 mm, the range of horizontal movement of the manipulator is 0~140 mm, all meet the expected design requirements. The simulation output force range is 0~425 N, which meets the massage force during treatment, and the output waveform is consistent with the waveform of the doctor during massage. The results of the study show that it is highly feasible to use massage robots instead of massage doctors to treat knee osteoarthritis patients and has clinical application value.

[Key words] Knee Osteoarthritis; Sitting Knee Adjustment; Traditional Chinese Massage; Massage Robot

0 引言

膝关节骨性关节炎(Knee Osteoarthritis, KOA)是指膝关节中的软骨发生组织破坏, 软骨中的骨质发生增生, 软骨出现剥落, 关节出现损坏畸形等现象, 最终导致膝关节功能发生活动障碍的一种退行性疾病^[1]。坐位调膝法是治疗 KOA 的一种中医推拿手法, 疗效显著、具有经济、无副作用、病人易于接受等特点^[2]。然而中医推拿科医师群体相对较小, KOA 患者较多, 专业推拿医师长期处于高强度的劳动负荷, 对医师拇指关节造成损伤, 缩短其职业寿命。中医推拿机器人以传统中医推拿理论为基础, 拥有高定位精度、动作精确可控且可重复、无疲劳等特点, 可以代替医师为患者治疗, 从而解决上述的问

题。在国内, 张玗飞等设计了一款针对腰腿部疼痛的5自由度推拿机器人^[3]; 高焕兵等利用传感器信息融合技术, 人机交互技术, 三维仿真技术等, 对典型中医推拿手法进行了建模, 在此基础上提出了一种串并联结构融合的机器人构型, 并研制了一款集多种推拿手法于一体的机械臂^[4]。在国外, Wang 等设计了一种新型轮式背部推拿机器人, 可以实现轻拍、滚动、揉捏等多种推拿操作, 并提出了一种改进的往复路径规划算法来提高推拿的覆盖率^[5]; Sajapin 等设计了一种具有平面和空间并联机构的新型智能推拿机器人^[6]。

尽管国内外关于推拿机器人的研究很多, 但是针对治疗 KOA 的推拿机器人研究很少, 市面上虽然有很多膝关节理疗设备, 不过这些设备多利用红外

作者简介: 豆建生(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 医疗器械人因工程设计。

通讯作者: 王殊轶 Email: wangshuyi@usst.edu.cn

收稿日期: 2020-12-17

加热、体表震动等技术来实现其理疗功能,主要用于正常人群的养生保健,不能代替医师为患者治疗。因此,在上述研究的基础上,本研究结合坐位调膝法自身的临床特性,设计了一种推拿机器人,主要目的是能够代替推拿医师为患者施加坐位调膝法,起到治疗膝关节炎的作用,从而解决医少患多的问题,使推拿医师可以从长时间高负荷的体力劳动中解放出来,将精力投入到推拿手法的研究中,促进中医推拿的进步。

1 推拿机器人设计

1.1 整体机械结构设计

临床上,推拿医师使用坐位调膝法时,双手拇指按一定频率和力度挤压患者的内外膝眼,治疗过程中患者配合治疗医师的动作站坐切换,以达到治疗的效果^[7]。通过运动捕捉系统和压力采集系统对医师施行坐位调膝法时的手法参数进行采集分析,坐位调膝法主要自由度包括:

- (1) 手臂上下平移自由度;
- (2) 拇指上下旋转自由度;
- (3) 手臂左右平移自由度;
- (4) 手臂前后平移自由度。

推拿机器人整体结构如图1所示,由1-底座、2-丝杆、3-机械手、4-伺服电机、5-角度推杆、6-升降推杆以及7-万向轮组成。根据实际临床调研,部分病情严重的患者存在移动不便的问题,因此在底座下方设计了4个万向轮,方便医疗人员将推拿机器人推到患者所在的病房为其治疗;手臂上下平移自由度通过升降推杆带动其上方的机械臂上下平移运动,以满足不同膝高的需要;角度推杆、升降推杆以及机械臂构成一个简单的杠杆机构,将角度推杆的直线运动转换成机械臂绕主轴方向的旋转运动,从而模拟医生拇指上下旋转运动;由于坐位调膝法使用的手指仅为双手拇指,因此在设计推拿机器人机械手时通过气弹簧来模拟人手的拇指,简化了整个机械手的结构设计。机械手通过支撑板安装于滑块之上,同时伺服电机也安装在手指支撑板上。伺服电机的输出轴上的齿轮与基座上的齿条组成齿轮齿条机构,将伺服电机的旋转运动转换成机械手指沿滑轨方向的左右平移运动,从而实现机械手对患者不同膝宽尺寸的调节。机械手固定在丝杆机构上,丝杆机构将伺服电机的旋转运动转换成机械手沿机械臂方向的水平前后平移运动,实现机械手对患者膝关节推拿作用。在机械手末端安装了硅胶

头,使机械手指与患者之间的接触变为软接触,提高推拿舒适性的同时也保护患者安全。

1.2 驱动控制设计

驱动控制模块系统框图如图2所示,主要由内置计算机、伺服系统以及电推杆模块组成。其中内置计算机实时接收伺服系统以及电推杆模块传输的数据,将数据在上位机软件上实时显示,方便治疗医师实时监测仿生推拿机器人的运动状态,当伺服电机或电推杆运行参数异常时,上位机软件可以向治疗医师报警,治疗医师可以通过急停开关停止推拿机器人动作,保证患者安全。伺服系统由伺服电机、伺服驱动器以及伺服控制器组成。伺服控制器用于编写控制程序,通过伺服控制器将程序指令输入到伺服驱动器中,伺服驱动器将程序指令以脉冲的形式向伺服电机输入,同时伺服驱动器还能实时读取伺服电机的转速等信息并将信息向内置计算机中的上位机软件输出。电推杆模块主要由升降柱、角度推杆以及推杆控制器组成。其中推杆控制器不仅可以控制升降柱以及角度推杆的运动,还能将升降柱以及角度推杆的运动参数实时向内置计算机中的上位机软件传输。

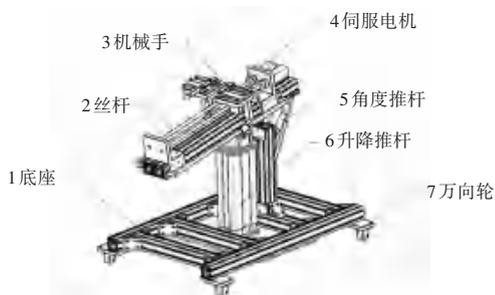


图1 推拿机器人整体结构

Fig. 1 The whole structure of the massage robot

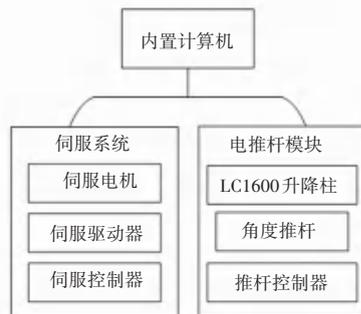


图2 驱动控制模块系统框图

Fig. 2 Drive control module system block diagram

推拿机器人伺服系统如图3所示。推拿机器人使用伺服系统作为整个机器人的控制系统,其中涉及4台伺服电机,包括2台机械手行程控制伺服电机和2台机械手指膝宽调节伺服电机。

2 仿真实验结果分析

采用工业设计软件 UG8.5 中的运动仿真模块对推拿机器人仿真分析,分析其是否符合设计要求。

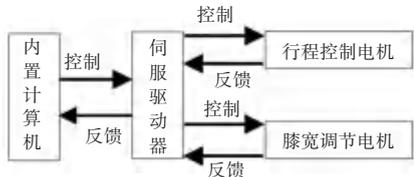


图 3 伺服系统

Fig. 3 Servo system

根据仿真结果可知:

(1) 手臂高度平移自由度如图 4 所示,0~15 秒为升降柱的上升阶段,15~30 s 为升降柱的下降阶段,机械臂活动范围为 0~20 mm;

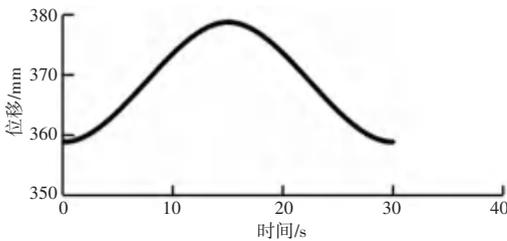


图 4 机械臂高度调节仿真结果

Fig. 4 Simulation results of height adjustment of manipulator

(2) 拇指上下旋转自由度如图 5 所示,推拿阶段,机械臂缓慢小范围运动;推拿结束阶段,机械臂回归初始位置,机械臂快速大范围运动,活动范围为 0~19°;

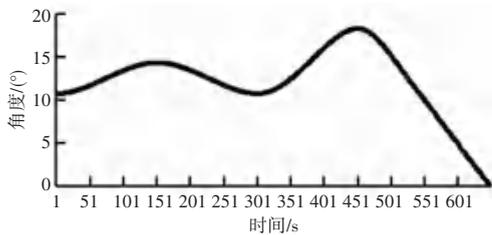


图 5 机械臂角度调节运动仿真结果

Fig. 5 Simulation results of manipulator angle adjustment motion

(3) 手臂左右平移自由度如图 6 所示,单侧机械手活动范围为 0~10 mm,机械手膝宽调节范围为 0~20 mm;

(4) 手臂前后平移自由度如图 7 所示,机械手水平运动的范围为 0~140 mm。均符合预期设计要求。

临床上根据患者 KOA 的病情严重程度将病情分为 4 级,级别越高病情越严重,根据推拿专家的临床经验,一般 KOA 的病情越严重,所需要的推拿力度就越大,采集实验的受试者为健康人,治疗过程中

产生的最大推拿力度为 170 N。根据推拿专家临床经验对本次实验的推拿力度进行放大,具体权重见表 1。经过权重放大后最大的输出力范围为 0~340 N。

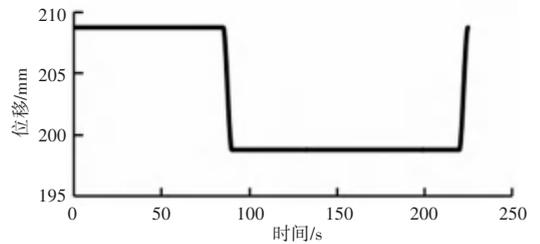


图 6 机械手指膝宽调节运动仿真结果

Fig. 6 Simulation results of knee width adjustment

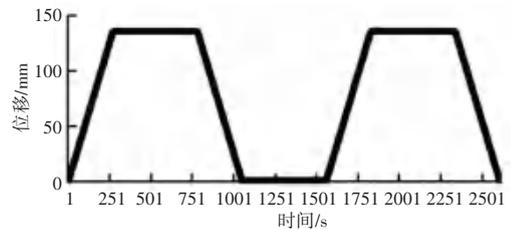


图 7 机械手沿机械臂方向活动范围

Fig. 7 The range of motion of the manipulator

表 1 输出权重

Tab. 1 The output weights

KOA 等级	1	2	3	4
权重	0.4	0.6	0.8	1
推拿力度(N)	238	272	306	340

仿真输出力与采集的医生施行坐位调膝法时的推拿力对比结果,如图 8 所示。推拿机器人仿真输出力范围为 0~425 N,满足最大的输出力范围为 0~340 N,输出波形与医师推拿时的波形保持一致。同时机械手使用气弹簧结构,其推拿力的变化近似满足胡克定律,因此仿真波形在推按、保持、放松各阶段的曲线均能做到平稳过渡。

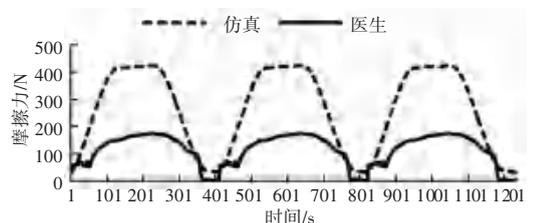


图 8 仿真输出力与医生推拿力对比结果

Fig. 8 Simulation output force and doctor massage force comparison results