

## 胰十二指肠切除术后康复推拿机械手的设计

林子杰<sup>1</sup>, 弓伟<sup>2</sup>

1. 广东省中医院设备处, 广东 广州 510000; 2. 广州中医药大学医学信息工程学院, 广东 广州 510006

**【摘要】**针对胰十二指肠切除术后患者主要出现的腹胀、腹痛等问题,运用中医推拿手法理论,以机械手臂为工具,制定合理的康复治疗方案。将中医9种推拿手法分解到三维平面上进行运动学分析,建立自由度矩阵,通过计算每个舵机的转速和转动时间来控制六自由度机械手臂的动作,实现推拿动作的模拟,使用推、按等手法对脾俞、胃俞、大肠俞等穴位进行治疗。经测试,机械手臂所模拟的推拿动作施力方向和施力频率较为准确,符合预期要求,为胰十二指肠切除术后患者常见并发症的康复治疗提供了新思路和新方法。

**【关键词】**胰十二指肠切除术;推拿;机械手臂;穴位

**【中图分类号】**R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2023)02-0208-04

### Design of massage manipulator for rehabilitation after pancreaticoduodenectomy

LIN Zijie<sup>1</sup>, GONG Wei<sup>2</sup>

1. Department of Equipment, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Guangzhou 510000, China; 2. School of Medical Information Engineering, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** A reasonable rehabilitation program was formulated using the theory of traditional Chinese medicine massage and the robot hand as a tool for relieving abdominal distension and abdominal pain in patients after pancreaticoduodenectomy. The 9 massage manipulations of traditional Chinese medicine are decomposed into three-dimensional planes for kinematic analysis, and the matrix for the degree of freedom is established. The rotation speed and rotation time of each steering engine are calculated for controlling the action of the manipulator with 6 degree of freedom, so as to realize the simulation of massage manipulations. The acupoints of Pishu, Weishu, Dachangshu are treated by pushing, pressing and other manipulations. The test results show that the force direction and frequency of the massage manipulations simulated by the robot hand are accurate, which meets the expected requirements. The designed massage manipulator provides a new idea and method for the rehabilitation of patients suffering from common complications after pancreaticoduodenectomy.

**Keywords:** pancreaticoduodenectomy; massage; mechanical arm; acupoint

### 前言

胰十二指肠切除(Pancreaticoduodenectomy, PD)手术主要用于治疗胰头癌、胰腺癌、十二指肠癌以及壶腹周围的癌变<sup>[1]</sup>。PD手术虽然疗效较好,但却是腹部外科最为复杂的手术之一,手术创伤巨大,同时会出现较多并发症。PD手术的患者术后3年存活率

较低<sup>[2]</sup>,5年存活率异常低<sup>[3]</sup>。胃排空障碍(Delayed Gastric Emptying, DGE)是PD术后常见的并发症,其主要病理表征为腹胀、呕吐、肠胃蠕动不佳,主要由腹腔手术创伤所引起<sup>[4]</sup>。

中医认为DGE引起的症状可归为胃反、呕吐、胃痞。究其病机则是由于体虚、正气不足、脾胃失调,影响了六腑的通降和全身气机的运化<sup>[5]</sup>。且癌症患者由于癌毒侵犯出现正虚邪盛,再加之腹部伤口较大,伤经损脉,导致正亏而邪盛,气滞而血瘀。故针对PD手术后出现的DGE症状,中医的治疗原则为扶正祛邪、疏理气机、调和气血以求达到调整胃肠功能,促进患者恢复健康的目的<sup>[6]</sup>。

推拿是中医治病防疾中不可或缺,使用频率和普及范围广的技术之一。其作为一种物理疗法,通过外部施力于不同穴位时可对应治疗不同的疾病<sup>[7]</sup>。

**【收稿日期】**2022-10-26

**【基金项目】**教育部产学研合作协同育人项目(220506528172218);广东省教育厅重点平台及科研项目青年创新人才类项目(2017KQNCX040)。

**【作者简介】**林子杰,研究方向:医学电子仪器设备,E-mail: disluke\_work01@163.com

**【通信作者】**弓伟,讲师,主要研究方向:生物医学信号检测与处理、医学电子仪器,E-mail: gongwei@gzucm.edu.cn

本文以PD术后病人出现的常见病证DGE为研究对象,在中医推拿手法理论的指导下,以机械手臂为康复器具,制定合理的康复治疗方案<sup>[8]</sup>。

1 中医推拿手法的制定

由于患者创口在腹部,为了不累及伤口,优先考虑腹部以外的穴位进行推拿<sup>[8]</sup>。脾俞穴,主脾胃方面的疾病,如腹胀、腹泻、呕吐等。胃俞穴,主消化系统方面的疾病,如胃痉挛、呕吐、恶心等。大肠俞,主腹痛、腹胀、肠鸣、便秘等病症<sup>[9]</sup>。八髎穴,由上髎、次髎、中髎和下髎各一对共8个穴位组成,主小便不利、小腹胀痛等病症,穴位位置示意图见图1。



图1 穴位位置示意图  
Figure 1 Diagrammatic sketch of acupoint location

患者侧卧,使用推、按手法,力度较为轻柔,对脾俞穴、胃俞穴、八髎穴3个穴位进行3~5 min的治疗<sup>[10]</sup>。若有病情较重者,可使用轻快些许的一指禅推法,沿着脊柱两侧,从肝俞开始,依次经过脾俞穴、胃俞穴、肾俞穴、大肠俞穴直至八髎穴,往返推拿治疗约5 min,再使用揉法对肾俞穴、大肠俞穴、八髎穴进行力度轻柔的治疗,约5 min<sup>[11]</sup>。

2 推拿施力分析

作为物理治疗方式的中医推拿,是作用于人体穴位之上,一些有规律的手法总和<sup>[12]</sup>。其对于技师的手法有一定要求,加之手指、手腕等关节的发力配合,对推拿动作的分析是非常困难的。本文着重在推拿手法的施力和受力的点、面上进行研究,分析推

拿手法的施力特征,如施力大小、方向、频率等动力学参数。这样既能有效分析推拿的作用效果,同时也降低了分析的难度,而且这样的分析方式非常利于使用机械臂进行模拟。

推拿手法共有9种,即推、按、滚、摩、揉、擦、拍、振、击。通过对这9种手法的研究,我们可以总结出,其施力方向主要以垂直和平面用力为主,部分会使用到旋转用力<sup>[13]</sup>。根据推拿手法的施力方向特点,可以建立空间坐标系进行研究。综合上面治疗方案,患者治疗身位为侧身位,以施力方向为Z轴,以垂直轴为Y轴,冠状轴为X轴建立空间坐标系。XY平面与患者治疗表面是同一个平面。

推法施力方向是沿着Z轴施力,在XY平面内是任意固定直线移动,周而复始;其施力大小可根据患者反馈适当调节,而作用频率则是120~160次/min。按法施力方向为沿着Z轴施力,作用点位于XY平面,保持一定压力,紧贴机体的单点部移动,施力频率为100~200次/min。滚法施力方向是以XY平面内任意一条直线为基线,以该直线的垂线方向进行轻微的位移施力,周而复始,施力频率为120~160次/min。摩法施力方向是沿着Z轴施力,在XY平面沿一条线段来回位移,其施力频率为120~160次/min。揉法施力方向是沿着Z轴施加一定压力,在XY平面小范围进行旋转运动,其施力频率为120~160次/min。擦法施力方向是沿着Z轴施加一定压力,再从XY平面上一点出发,多直线施力,施力频率为120~160次/min。拍法施力方向是沿着Z轴施力,施力大小以透过皮下组织为优,施力频率为120~160次/min。振法施力方向是沿着Z轴施力,发力大小要求有一定节律的变化,忽重忽轻,交替施力,周而复始;施力位置可在XY轴任意位置,施力频率为400~600次/min。击法施力方向是沿着Z轴垂直作用在XY平面上,要求不在同一点重复作用过多,且施力需要注意有节奏,施力大小保持不变,施力频率为200~400次/min<sup>[14]</sup>。综上所述,完成以上9种推拿手法施力模仿至少需要4个自由度的施力。同时,各个推拿手法的自由度如表1所示。

表1 9种推拿手法的施力自由度矩阵  
Table 1 Degree of freedom of 9 massage manipulations

推拿手法	推法	按法	滚法	摩法	揉法	擦法	拍法	振法	击法
施力方向	x, z	z, γ	z, α	z, γ	z, γ	y, z	x	z	z
自由度数	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \gamma \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \alpha & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \gamma \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \gamma \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x & y & z \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix}$
动作频率/次·min <sup>-1</sup>	120~160	100~200	120~160	120~160	120~160	100~200	200~400	400~600	200~400

综合考虑PD术后DGE症状的中医推拿手法及施力分析,锁定需要使用的推拿手法是推、按这两种,这两种手法是典型的垂直施力和水平施力<sup>[15]</sup>。

### 3 推拿机械手的设计与实现

采用基于微控制器的6自由度机械手臂,其外观如图2所示。



图2 机械手臂外观

Figure 2 Appearance of robot hand

该机械手臂配备了6个型号为LFD-06的高精度低功耗数字舵机,舵机通过PWN接口与主板连接。机械爪部分使用LDX-335MG型数字舵机,可在发生转向阻挡时自动计时,4 min后停止工作以防止舵机马达烧坏。底座使用的是1501舵机,有着15 kG的强大扭力。该机械手臂可最高支持存储100个动作组,信号接收器配置蓝牙模块,使用遥控器或手机实现无线控制机械手臂。

舵机内部结构为:一个中控板、一个小型直流马达、一组变速齿轮和一个线性反馈电位器。舵机是一个经典的闭环反馈结构<sup>[16]</sup>,如图3所示。工作时,电位器对马达输出进行检测,并将结果反馈到控制电路中,控制电路将收到的信号与输入的信号进行比较,驱动马达按照一定的方向和速度转动,使得舵机转动角度趋向于输入信号的期望值,以实现舵机的精确定位。

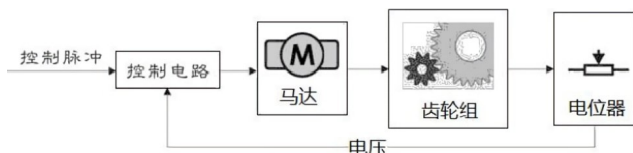


图3 舵机控制电路

Figure 3 Control circuit of steering engine

每个舵机都能够通过程序控制实现0°~180°的转动。输入端需要输入一个周期性的正向脉冲信号,并且要求高电平持续时间为1~2 ms,低电平持续时间为5~20 ms。舵机需要持续输入的正向脉冲,才能

通过闭环反馈电路不断与输入信号进行比较,从而实现精确定位。

### 4 测试结果与分析

本文以机械手臂为载体,研究模拟中医推拿手法的施力特征,主要分析施力方向是否准确、施力频率是否符合要求<sup>[17]</sup>。结合需要完成的推拿手法施力特征的模拟,设计并评测垂直和水平两个方向上的施力特征是否符合预期。在施力方向方面,以角度作为度量标准,垂直发力的手法角度应以被治疗机体所在平面作为基底,施力方向需与该基底平面呈垂直关系,即测量出的机械臂与体表之间的角度应为90°;同理,评测水平方向施力的标准为施力角度以被治疗机体所在平面作为基底,施力方向需与该基底平面呈平行关系,即测量出的机械臂与体表之间的角度应为0°,在施力频率方面,记录机械手臂每个推拿动作完成的时间长度,从而得出该推拿动作每分钟完成的次数,即可测得机械手臂的施力频率。

记录120次测量的数据,垂直施力角度(期望值为90°)为 $89.6^{\circ} \pm 0.60^{\circ}$ ,水平施力角度(期望值为0°)为 $0.29^{\circ} \pm 0.49^{\circ}$ ,推拿动作时间(期望值为1 s)为 $(0.99 \pm 0.02)$  s。由测试结果可以看出,在进行多次测试的情况下,测量的平均值落在期望值附近,当测量次数为无穷大时,可以认为该机械手臂所模拟的推拿动作施力特征是等于期望值的。推拿手法施力的力度要求柔和、有力、渗透,但目前学界尚未有统一的标准<sup>[18]</sup>,所以此项不作为测试结果分析<sup>[19]</sup>。

针对PD术后患者出现的DGE症状,目前西医常用服用药物和注射药剂等方法来治疗,治疗疗程漫长,效果不稳定,且治疗过程给患者带来非常多痛苦。再加之进行PD手术的患者年龄普遍偏大,多次注射药剂对患者机体非常不利,会带来许多不良影响<sup>[20]</sup>。用于胰十二指肠切除术后患者康复的中医推拿机械手根据中医辨证论治、标本同治的核心思想,通过分析推拿手法施力的特征,使用机械手臂模拟中医推拿治疗<sup>[21]</sup>。本文创新性地将中医推拿治疗、中医辨证论治用于DGE,并设计了机械手臂模拟推拿施力特征,根据实验结果来看能够非常好地完成预期目的,为PD术后患者最常见的并发症—DGE的康复治疗提供了新思路和新方法。

### 【参考文献】

- [1] 刘建华. 胰十二指肠切除术的发展与现状[J]. 中华肝胆外科杂志, 2022, 28(4): 241-244.  
Liu JH. Pancreaticoduodenectomy: development and present situation [J]. Chinese Journal of Hepatobiliary Surgery, 2022, 28(4): 241-244.
- [2] 薛鸿, 颜锡洋, 陈江明, 等. 胰十二指肠切除术后并发症与预后的相



- 关分析[J]. 肝胆外科杂志, 2020, 28(3): 194-200.
- Xue H, Yan XY, Chen JM, et al. Correlation analysis of complications and prognosis after pancreatoduodenectomy [J]. Journal of Hepatobiliary Surgery, 2020, 28(3): 194-200.
- [3] Carroll JE, Smith JK, Simons JP, et al. Redefining mortality after pancreatic cancer resection[J]. J Gastrointest Surg, 2010, 14(11): 1701-1708.
- [4] 李旭, 秦婷婷, 王敏, 等. 腹腔镜胰十二指肠切除术后临床相关胃排空延迟危险因素分析[J]. 中国实用外科杂志, 2022, 42(5): 569-574.
- Li X, Qin TT, Wang M, et al. Analysis of risk factors for clinically relevant delayed gastric emptying after laparoscopic pancreatoduodenectomy [J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2022, 42(5): 569-574.
- [5] 李晓彤, 李慧杰, 李秀荣. 中医药在胃癌术后并发症中的应用探讨[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2021, 29(5): 370-372.
- Li XT, Li HJ, Li XR. Application of traditional chinese medicine in postoperative complications of gastric cancer[J]. Chinese Journal of Integrated Traditional and Western Medicine on Digestion, 2021, 29(5): 370-372.
- [6] 范月娟, 吴培, 刘俊霞. 针灸治疗术后胃瘫综合征的Meta分析[J]. 医药论坛杂志, 2022, 43(5): 10-15.
- Fan YJ, Wu P, Liu JX. A meta-analysis on acupuncture treatment of postpartum gastroparesis syndrome[J]. Journal of Medical Forum, 2022, 43(5): 10-15.
- [7] 中国中西医结合学会麻醉专业委员会, 甘肃省中西医结合学会麻醉专业委员会. 穴位刺激辅助治疗术后疼痛临床实践指南(2021)[J]. 中华麻醉学杂志, 2021, 41(10): 1159-1165.
- Anesthesia Committee of Chinese Association of Integrative Medicine, Anesthesia Committee of Chinese Association of Integrative Medicine, Anaesthesia Committee of Gansu Institute of Association of integrative Medicine. Clinical practice guide for acupoint stimulation assisted treatment of postoperative pain (2021) [J]. Chinese Journal of Anesthesiology, 2021, 41(10): 1159-1165.
- [8] 姬宇程, 翁羽洁, 宁鹏飞, 等. 中国蒙医诺哈拉呼摆动类手法力学信息分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(6): 778-782.
- Ji YC, Weng YJ, Ning PF, et al. Analysis on mechanical information of Noharahu swing manipulations in Chinese Mongolian medicine[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(6): 778-782.
- [9] 原山, 付国兵, 国生, 等. 振腹推拿治疗慢性术后胃瘫综合征浅析[J]. 北京中医药, 2021, 40(3): 282-284.
- Yuan S, Fu GB, Guo S, et al. Analysis on the treatment of chronic postoperative gastroparesis syndrome with abdominal vibration massage[J]. Beijing Journal of Traditional Chinese Medicine, 2021, 40(3): 282-284.
- [10] 陈远方, 连宝涛, 钟子劭, 等. 穴位敷贴治疗腹泻型肠易激综合征临床选穴规律数据挖掘研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2021, 28(1): 27-31.
- Chen YF, Lian BT, Zhong ZS, et al. Study on acupoint selection of acupoint application in treatment of diarrhea-predominant irritable bowel syndrome based on data mining [J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2021, 28(1): 27-31.
- [11] 栗顺美, 柯春艳, 林俏丽, 等. 腹部推拿联合足三里温和灸对AECOPD胃肠功能障碍的改善作用研究[J]. 中国中医急症, 2021, 30(9): 1607-1609.
- Su SM, Ke CY, Lin QL, et al. Efficacy of abdominal massage combined with mild moxibustion of zusanli on the improvement of gastrointestinal dysfunction in cases with AECOPD[J]. Journal of Emergency in Traditional Chinese Medicine, 2021, 30(9): 1607-1609.
- [12] 黎秋风, 张国花, 孙晓燕. 中医推拿联合穴位按摩护理对剖宫产术后产妇腹胀的影响[J]. 华夏医学, 2021, 34(4): 170-172.
- Li QF, Zhang GH, Sun XY. Effect of traditional chinese medicine massage combined with acupoint massage nursing on abdominal distension of parturient after cesarean section [J]. Acta Medicinæ Sinica, 2021, 34(4): 170-172.
- [13] 李阳, 张捷, 刘恒嘉, 等. 中医非药物疗法在心身医学中的应用[J]. 东南大学学报(医学版), 2020, 39(5): 669-672.
- Li Y, Zhang J, Liu HJ, et al. Application of non drug therapy of traditional chinese medicine in psychosomatic medicine[J]. Journal of Southeast University (Medical Science Edition), 2020, 39(5): 669-672.
- [14] 刘昱材, 吕晶, 李进龙. 推拿手法量化及参数研究微探[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(3): 1191-1193.
- Liu YC, Lü J, Li JL. Research on quantization and parameter of massage manipulation [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2017, 32(3): 1191-1193.
- [15] 余顺年, 马履中, 陈拓西, 等. 新型串并联中医推拿机器人研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(19): 84-89.
- Yu SN, Ma LZ, Chen EX, et al. Study on a novel series-parallel chinese massage manipulator [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(19): 84-89.
- [16] 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.
- Yu SN, Ma LZ, Guo ZH. Analyses of the kinematics and dynamics characteristics of the Chinese medical massage techniques [J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2005, 19(3): 82-85.
- [17] 罗明亮, 蔡叔林, 唐剑超, 等. 改进的双闭环舵机控制系统设计与实现[J]. 控制工程, 2020, 27(3): 456-461.
- Luo ML, Cai QL, Tang JC, et al. The design and implementation of improved dual closed-loop actuator control system [J]. Control Engineering of China, 2020, 27(3): 456-461.
- [18] 王桂茂, 纪清, 盛锋, 等. 推拿实践教学环节手法技能评测的探讨[J]. 中医药导报, 2016, 22(2): 124-125.
- Wang GM, Ji Q, Sheng F, et al. Discussion on the evaluation of manipulative skills in practical teaching of massage [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2016, 22(2): 124-125.
- [19] 王晓宇, 李华南, 张玮, 等. 推拿国际化的关键因素-手法标准化建设[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(4): 1658-1662.
- Wang XY, Li HN, Zhang W, et al. Key factor in the globalization of manipulation: standardization of manipulation [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2020, 35(4): 1658-1662.
- [20] 马亮亮, 杨惠然, 王建业, 等. 基于Web of Science核心合集推拿研究的文献计量及可视化分析[J]. 中医药导报, 2022, 28(2): 131-138.
- Ma LL, Yang HR, Wang JY, et al. Bibliometric and visual analysis of massage research based on Web of Science core collection [J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2022, 28(2): 131-138.
- [21] 朱伟坚, 王茵萍, 高岑, 等. 电针对胰十二指肠切除术后康复的干预作用研究-附37例临床资料[J]. 江苏中医药, 2020, 52(10): 69-71.
- Zhu WJ, Wang YP, Gao C, et al. Study on the interventional effect of electroacupuncture on rehabilitation after pancreatoduodenectomy: a report of 37 cases [J]. Jiangsu Journal of Traditional Chinese Medicine, 2020, 52(10): 69-71.
- [22] 李珊红. 中医推拿综合测定系统的若干关键技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- Li SH. Research on some key technologies of a systematic for synthetical measurement of Chinese medical massage [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2013.

(编辑:薛泽玲)