

DOI:10.19651/j.cnki.cmt.2107262

脑卒中患者感觉功能定量测试系统

彭中星 赵妍华 叶诗婷 陆小锋

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200444)

摘要: 目前针对脑卒中患者躯体感觉功能的研究较少,医院进行测试时仍在使用较为原始的两点辨别觉测试盘。本文论述了一种脑卒中患者感觉功能定量测试系统,弥补了现阶段康复医院中两点辨别觉传统测试方式缺乏数字化、现代化的问题。通过对系统进行软硬件设计,本套系统集成测试、电子记录、图表分析等多种功能。经过医院实地测试,通过对比实验数据,可证明该系统定量测试所得数据与传统测试方法结果几乎一致,同时测试时间可以缩短90%左右,故该系统具有准确性和高效性,可以进一步推广和应用。

关键词: STM32单片机;步进电机;两点辨别觉;定量测试

中图分类号: TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4040

Quantitative sensory function test system for stroke patients

Peng Zhongxing Zhao Yanhua Ye Shiting Lu Xiaofeng

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: At present, there are few researches on the somatosensory function of stroke patients, and the two-point discriminative test disc used in hospitals is primitive. This article discusses a quantitative test system for the sensory function of stroke patients, which makes up for the lack of digitization and modernization of the traditional two-point discrimination test in rehabilitation hospitals at this stage. Through the software and hardware design of the system, this system integrates multiple functions such as testing, electronic recording, chart analysis, etc. After field tests and comparative experiments in hospital, the results of quantitative test are almost the same as those of traditional test method, and the test time can be reduced about 90%. The system achieves such high accuracy and efficiency that it can be further popularized and applied.

Keywords: STM32 single-chip microcomputer; stepping motor; two-point discrimination; quantitative measurement

0 引言

我国每年有超过250万例新发的脑卒中患者,发病率逐年上升并呈年轻化趋势^[1]。其中躯体感觉功能障碍是脑卒中发病后常见的功能障碍。相关研究显示,脑卒中后,上肢感觉功能障碍的发生率可高达85%^[2]。感觉功能障碍也会影响患者的运动功能,进而对患者日常生活活动能力造成损害^[3]。

现有老年脑卒中患者相关研究的内容多集中于运动功能康复、心理干预、感染控制等方面^[4],关于躯体感觉功能的研究很少,触觉与两点辨别觉相关研究更是鲜见。传统的脑卒中康复聚焦于下肢运动功能上,近年来,脑卒中后手功能康复受到了越来越多的关注^[5]。国内外学者研究表明,早期康复评定与治疗可以改善患者的运动功能,提高患者的生活质量^[6-9]。准确地康复评估可以为康复训练计划

提供参考和依据,同时可以反映出当前康复训练计划的效果,为医生提供制定计划的依据^[10]。

在物理检查中,判定脑卒中患者感觉功能康复情况指标常为两点辨别觉。在神经损伤修复后的感觉功能恢复的初期阶段,两点辨别觉较差,即能区分的最小两点距离较大。随着再生神经纤维的增长,能区分的最小两点距离逐渐缩小。两点区分距离越接近正常值,神经感觉纤维恢复越佳。

以往,人们更多地关注脑卒中患者上肢运动功能障碍的症状、影响因素以及干预措施,常常忽视了感觉功能障碍的诊断与治疗。感觉功能障碍的影响常被运动功能障碍的影响所掩盖^[11]。因此,医院针对两点辨别觉的测试缺乏数字化、智能化的设备。现有的测量用具为两点辨别觉测试盘,测量过程繁复,数据不易储存且容易丢失,评估过程耗时过长,易引起患者的不舒适感甚至反感,从而会增加

收稿日期:2021-07-13

医患矛盾的风险。

为开拓更加广泛的康复训练手段和进一步提高康复效率,智能康复应运而生^[12]。为了解决使用现有测试工具导致的测量过程繁复、耗时长等问题,本文从提高测试效率角度为出发点,采用测试头移动距离算法和步进电机控制相结合的方式,设计了一种脑卒中患者感觉功能定量测试系统。通过将使用此系统得出的数据和医院过往数据进行对比实验,从恢复情况的评估角度,二者结果应保持一致;从测试使用时长角度,本系统的测量总时长应小于医院现有工具测量总时长。作为医疗范畴功能性设备,该系统可以实现测试过程量化、智能化,提高测量效率,完善测试体验。切实从患者体验、医护工作等方面进行了全面地提升。

1 定量测试系统硬件设计

1.1 系统组成

脑卒中患者感觉功能定量测试系统由主控操作模块和手持式测量模块组成,如图 1 所示。其中,主控操作模块由主控电路、显示屏及其扩展模块、存储模块、电机驱动器和按键模块组成。手持式测量模块由步进电机和测试头组成。

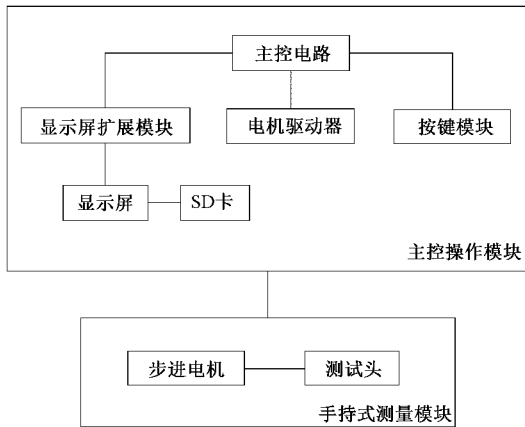


图 1 系统结构

1.2 主控操作模块设计

主控操作模块中,主控电路主要使用定时器、串口通信等功能来检测按键模块的状态,同时在按键模块状态检测中增加了消抖处理。步进电机的工作原理是将接收到的脉冲信号转换为角位移。步进电机的转速取决于脉冲信号的频率,停止的位置取决于脉冲数^[13]。主控电路通过判定按键模块的状态来完成人机交互,并与显示屏和手持式测量模块进行串口通信,以此来控制步进电机的转动方向,从而改变测试头的距离。

1.3 手持式测量模块设计

手持式测量模块中,步进电机与主控操作模块中的电机驱动器通过长线连接,并用热缩管包裹,此设计将步进电机的测量使用灵活化,方便医生在测量时与患者接触。步

进电机上用热熔胶固定两根测试头,其在水平方向处于同一直线,且高度相等,防止因测试头的差异而让患者产生错误的感觉,从而影响测量结果。同时,将步进电机用自攻螺丝固定在长方体木盒中,方便医生测量时的抓握,提升使用体验,同时也保护了步进电机,增加使用寿命。

2 定量测试系统软件设计

使用脑卒中患者感觉功能定量测试系统时,通过简单的人机交互,在测试头移动距离算法下可以快速收敛,精确定位测试距离。同时通过操作显示屏,可以定量记录测试数据并完成数据的可视化。软件控制流程如图 2 所示。

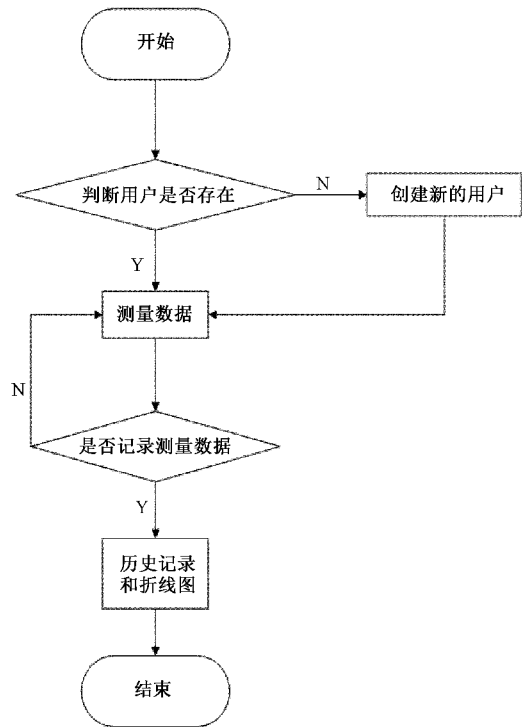


图 2 软件控制流程

2.1 测试头移动距离算法

设定两根测试头之间最大距离为 20 mm,最小距离为 5 mm。设定两根测试头每次测量的初始值为 $a_0 = 20$,为了控制测试头移动的方向,设定控制位 flag。当 $flag = 0$ 时表示患者无法感知两根测试头,当 $flag = 1$ 时表示患者能感知两根测试头。若第 1 次测量后, $flag = 0$,则最终测试结果为 $a_0 = 20$ 。若第 1 次测量后, $flag = 1$,则满足式(1)条件:

$$a_0 = 20, a_1 = 10 \tag{1}$$

若此时,测量仍然未结束,则测试头距离变化满足式(2)、(3):

$$j = 0, 1, 2 \tag{2}$$

$$a_{j+2} = \begin{cases} a_{j-1} + \frac{|a_{j+1} - a_j|}{2}, & flag = 0 \\ a_{j-1} - \frac{|a_{j+1} - a_j|}{2}, & flag = 1 \end{cases} \tag{3}$$

若确定测量结束,则所有数值回归初始值,可按上述公式重新进行下一次测量。该算法能够快速收敛,实现了测试头准确地快速移动,从而定位到患者所能感知到两点的最小距离。该算法帮助医患双方极大程度上缩短了测试时间,提高了测试效率。

2.2 人机交互开发

人机交互是指为了完成特定任务,人与机器之间进行信息交换的过程,是人与机器之间信息传输的通道^[14]。交互模式可分为语音交互、触摸屏等触摸感应交互、人脸交互、手势交互等^[15]。通过与触摸屏的简单交互,便可方便高效地完成测试和数据的记录、查询与可视化。

显示屏界面包括用户创建、登录、左右手选择、测试部位选择、测试界面、历史数据查询和折线图分析。显示屏开发平台为 USART HMI,通过 findfile 函数来判别用户是否已有电子档案。用户信息可以通过 wepo/repo 指令与存储模块进行交互,完成历史数据查询,历史数据以表格的形式呈现,包括测试日期、测试部位和测试数据。在测试部位选择和测试界面,通过 rept 指令与步进电机进行串口通信,控制测试头的移动,并实时将距离显示在界面上。折线图分析进行了历史数据的可视化操作,如图 3 所示。该图将患者在长期康复中测试所得的数据以折线的形式展示,反映出患者康复的总体趋势,便于医生更直观地了解患者的康复情况。

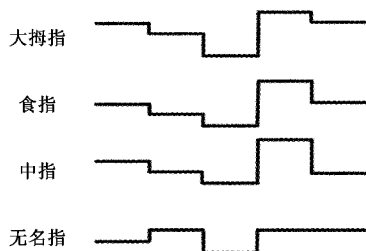


图 3 历史数据折线图

人机交互开发解决了传统测量方式中手动记录数据速度慢、数据易丢失的问题。通过智能化电子记录、保存数据,并用数据可视化的方式提高了测试效率,提升了测试便捷度和医患体验感。

3 实验测试

3.1 测试标准

脑卒中患者感觉功能定量测试系统属于医疗器械技术领域,它是一种常用的对神经损伤修复后,判断感觉功能恢复的定量检查方法。正常手指末节及掌侧皮肤的两点区分距离为 3~5 mm。两点区分距离数值越大,手部感觉功能越差。当神经损伤修复后,感觉恢复的初期阶段,两点辨别距离较大,随着再生神经纤维的数目的增加及质量的提高,两点辨别距离逐渐缩小。两点辨别距离越接近正常值,神经感觉纤维恢复越佳。医院现用两点辨别觉测试盘如

图 4(a)所示,本文论述的脑卒中患者感觉功能定量测试系统如图 4(b)所示。

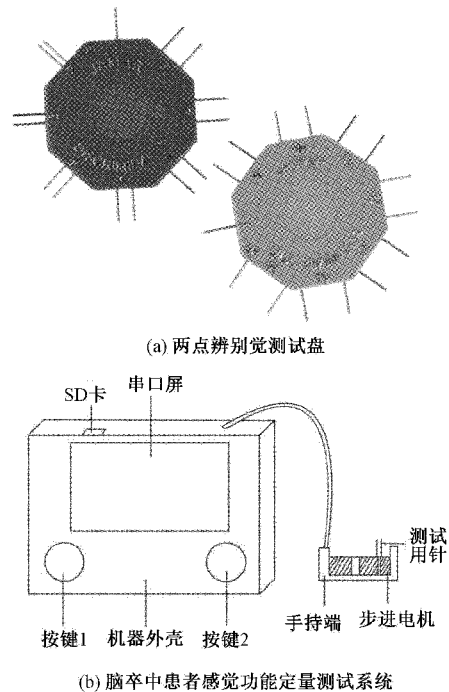


图 4 两种测试用具

两点辨别觉测试盘为八边形,测定范围为 2~8 mm 和 9~15 mm。脑卒中患者感觉功能定量测试系统测定范围: 5~20 mm。

如表 1 所示,美国手外科学会将手部两点辨别觉测试的恢复情况分为正常、良、不良和麻木。

表 1 美国手外科学会两点辨别觉测试标准

感知情况	评定范围/mm
正常	小于 6
良	7~11
不良	12~15
麻木	不能认知

此外,本文系统将“麻木”的范围设定为大于 20 mm。测试部位被具体地划分为大拇指、食指、中指、无名指、小指以及以手掌中心为 midpoint 划分的 4 块区域,总共设有 9 处测试部位。

3.2 测试结果及分析

本脑卒中患者感觉功能定量测试系统在学校和第三康复医院分别进行了测试。图 5 为第三康复医院病人使用脑卒中患者感觉功能测试系统进行两点辨别觉感觉功能的测试图。

医院测试所得数据如表 2 及 3 所示,经过和医院使用传统测量方式所得结果进行比对,发现其与使用脑卒中患者感觉功能定量测试系统所得的测试结果几乎一致。

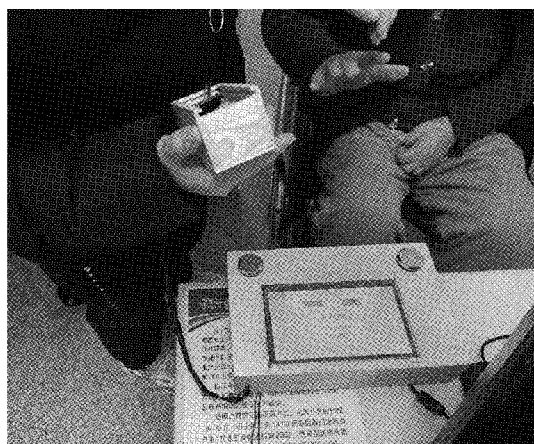


图5 患者进行测试

由表2及3可知,脑卒中患者的手部病症常表现为局部感觉功能障碍。患者1整体手部感觉功能较差,患者2中指感觉功能不良,患者3大拇指感觉功能麻木。为保护患者隐私,医院测试数据尚不能公开。

表2 患者手指部位测试结果 mm

被测者	大拇指	食指	中指	无名指	小指
患者1	12.5	12.5	15	10	10
患者2	5	5	15	5	5
患者3	20	5	5	5	5

表3 患者手掌部位测试结果 mm

被测者	手掌区域1	手掌区域2	手掌区域3	手掌区域4
患者1	12.5	17.5	17.5	15
患者2	7.5	7.5	7.5	7.5
患者3	7.5	7.5	7.5	7.5

由表4及5可知,志愿者手指和手掌部位的感觉功能均为正常和良好,且手掌感觉功能的灵敏度小于手指尖端。通过综合对比,患者测试所得数值均大于志愿者测试所得数值,证明了本套系统的有效性。

表4 志愿者手指部位测试结果 mm

被测者	大拇指	食指	中指	无名指	小指
志愿者1	5	5	5	5	5
志愿者2	5	5	5	5	5
志愿者3	5	5	5	5	5

从测试精度分析,传统测量方式依靠医生手动调整距离,判断距离是否正确主要依靠医生的主观感觉,不同的读数角度会导致一定的误差。本文系统的一大优势是精度高,采用步进电机调整测试头距离,其精确度可以达到0.1 mm,保证了测量精度。

表5 志愿者手掌部位测试结果 mm

被测者	手掌区域1	手掌区域2	手掌区域3	手掌区域4
志愿者1	5	5	5	5
志愿者2	5	7.5	7.5	7.5
志愿者3	7.5	5	7.5	5

由表6可知,从测试时间分析,使用本文系统完成一套测试流程,平均时间在5 min左右,而使用传统测试方法完成一套测试流程,耗时平均在45 min。由此可见,本文系统的使用可以缩短原测试时间的90%左右,证明了本文系统的高效性。

表6 平均测试时间对比

测试工具	平均测试时间
两点辨别觉测试盘	45'00"
脑卒中患者感觉功能定量测试系统	3'38"

通过对比志愿者和患者的测量数据,可以体现脑卒中患者感觉功能定量测试系统的可行性。通过对比医院现用两点辨别觉测试盘与脑卒中患者感觉功能定量测试系统完成一套测试所得数据和所用时间,可以体现脑卒中患者感觉功能定量测试系统的准确性和高效性。

3.3 实验结果总结

由上述结果可以得到如下结论:

与使用两点辨别觉测试盘的传统测量方式对比,本文所采用的脑卒中患者感觉功能定量测试系统可以:1)简化流程,缩短测试时间;2)达到较高测量精度,避免手动操作引起的误差;3)电子化记录数据;4)数据可视化。

4 结 论

基于医患双方对提升测试效率的需求,本文提出了一种脑卒中患者感觉功能定量测试系统,对医疗康复领域具有重大意义。作为在脑卒中两点辨别觉测试方面首创的人机交互型电子化系统,该系统采用定制可视化界面,根据特定的测试头移动距离算法快速收敛、定位测试头位置,使用电子化设备实现测试和记录一体化,保证了数据的准确性、完整性及测试的高效性,使测试时间相较以前缩短了90%左右,健壮了脑卒中患者手部两点辨别觉的定量测试方法。未来,该系统将进行联网功能的拓展,提高对患者信息的智能管理水平,达到区域性信息共享,最终实现“医路直达、智护万家”的目的。

参考文献

- [1] 孙莉敏. 运动想象训练促进脑卒中患者功能恢复的功能磁共振(fMRI)研究[D]. 上海:复旦大学,2013.
- [2] CARLSSON H, GARD G, CHRISTINA B. Upper-limb sensory impairments after stroke: Self-reported

- experiences of daily life and rehabilitation[J]. Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 50(1): 45-51.
- [3] 张通. 中国脑卒中康复治疗指南(2011 完全版)[J]. 中国康复理论与实践, 2012, 18(4): 301-318.
- [4] 邵芄, 徐英, 丁力, 等. 老年患者脑卒中后手、上肢触觉和两点辨别觉改变及其与上肢运动功能的相关性研究[J]. 老年医学与保健, 2018, 24(6): 646-649, 654.
- [5] 刘浩, 陈旦, 刘书朋, 等. 基于激光散斑血流成像的脑卒中患者手功能康复评估系统和软件[J]. 工业控制计算机, 2020, 33(7): 20-21, 24.
- [6] KULISHOVA T V, SHINKORENKO O V. The effectiveness of early rehabilitation of the patients presenting with ischemic stroke [J]. Voprosy Kurortologii, Fizioterapii i Lechebnoi Fizicheskoi Kul'tury, 2014(6): 9-12.
- [7] RASMUSSEN R S, ØSTERGAARD A, PIA K, et al. Stroke rehabilitation at home before and after discharge reduced disability and improved quality of life: A randomised controlled trial[J]. Clinical Rehabilitation, 2016, 30(3): 225-236.
- [8] 付伟锋. 早期康复对脑卒中患者日常功能和生存质量的影响[J]. 中国医药指南, 2014, 12(8): 51.
- [9] 李宇辉, 裴玉萍, 孙敏. 早期康复治疗对脑卒中患者日常生活能力的疗效评价[J]. 中国现代药物应用, 2015, 9(2): 215-216.
- [10] 王聪, 陆小锋, 朱民耀, 等. 脑卒中手功能康复“球状抓握”定量评估算法[J]. 电子测量技术, 2018, 41(19): 13-17.
- [11] CAREY L M, MATYAS T A, BAUM C. Effects of somatosensory impairment on participation after stroke[J]. The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association, 2018, 72(3): 1-10.
- [12] 郑悦, 景晓蓓, 李光林. 人机智能协同在医疗康复机器人领域的应用[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(10): 2373-2380.
- [13] 陆聪, 张北伟. 基于 STM32 三轴云台控制系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2019, 38(9): 75-78.
- [14] 戴廷飞, 刘邈, 叶阳阳, 等. 人机共享控制机器人系统的应用与发展[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3): 62-73.
- [15] 刘策, 刘小峰. 助老服务机器人多模式友好交互系统设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(1): 177-182.

作者简介

彭中星, 本科生, 主要研究方向为嵌入式技术、信号处理、深度学习等。

E-mail: 1060983812@qq.com

陆小锋(通信作者), 高级实验师, 主要研究方向为智能信息处理。

E-mail: luxiaofeng@shu.edu.cn