

参赛队员姓名：蒲新格

中学：上海外国语大学附属外国语学校

省份：上海市

国家/地区：中国/上海

指导教师姓名：赵运磊

指导教师单位：上海市复旦大学计算机科学技术学院

论文题目：智能感知结合音乐疗法的脑卒中患者康复效果评价系统

智能感知结合音乐疗法的脑卒中患者康复效果评价系统

摘要:

脑卒中引起的运动功能缺失给社会和家庭带来巨大的负担。手部的重复康复训练有助于脑卒中患者中枢神经系统的重建,大部分研究更侧重于机器人辅助的手部主动/被动训练,然而,对患者手部功能的运动功能检测以及康复评价体系是必要且缺乏的。为此,本文提出了智能感知结合音乐疗法的脑卒中患者康复效果评价系统。本文设计了两点辨别觉检测机构、手指肌力检测手套分别来检测脑卒中患者的感觉功能和肌肉控制能力。定时采集并分析被试者的检测数据,结合对被试者访谈结果,建立了脑卒中患者的手功能康复评价体系,为患者的个性化康复训练模式选择提供支撑。同传统人工操作方法对比,该系统两点辨别觉检测的效率提升 75%;基于医疗音乐的康复训练提高了被试者的康复依从性,依据手功能康复评价体系得出的结论与医生凭经验得出的结果一致性达 76%。实验结果表明,该评价系统可以完成脑卒中患者排查、康复训练中病人运动能力和康复效果量化的功能,值得推广。

关键词: 脑卒中, 两点辨别觉, 手指肌力检测, 音乐疗法, 康复评价

Evaluation system of rehabilitation effect of stroke patients with intelligent perception combined with music therapy

Abstract:

The lack of motor function caused by stroke brings a huge burden to the society and family. Repetitive hand rehabilitation training is helpful to the reconstruction of central nervous system in stroke patients. Most studies pay more attention to robot assisted hand active / passive training. However, the motor function detection and rehabilitation evaluation system of hand function are necessary and lacking. Therefore, this paper proposes a rehabilitation effect evaluation system for stroke patients based on intelligent perception and music therapy. In this paper, two-point discrimination detection mechanism and finger muscle strength detection gloves are designed to detect the sensory function and muscle control ability of stroke patients. Regularly collect and analyze the test data of subjects, combined with the interview results of subjects, establish the hand function rehabilitation evaluation system of stroke patients, so as to provide support for the selection of personalized rehabilitation training mode. Compared with traditional manual operation, the efficiency of simultaneous interpreting is 75%. The rehabilitation training based on medical music improved the subjects' rehabilitation compliance. The conclusion based on the hand function rehabilitation evaluation system was consistent with the results obtained by doctors based on experience by 76%. The experimental results show that the evaluation system can complete the screening of stroke patients and the quantification of patients' motor ability and rehabilitation effect in rehabilitation training, which is

worthy of popularization.

Keywords : Stroke, two-point discrimination, finger muscle strength test, music therapy, rehabilitation evaluation

2021 S.-T. Yau High School Science Award

目录

1.	引言.....	1
1.1.	研究背景.....	1
1.2.	研究现状.....	2
1.3.	课题意义与创新点.....	5
1.4.	文章结构.....	6
2.	智能感知的手指康复评价平台设计.....	7
2.1.	两点辨别觉检测机构.....	7
2.1.1.	概念设计.....	7
2.1.2.	两点辨别觉检测机构的硬件设计.....	9
2.1.3.	两点辨别觉检测机构的软件设计.....	11
2.2.	手指肌力检测手套.....	12
2.2.1.	硬件设计.....	12
2.2.2.	软件设计.....	15
3.	实验方法和康复评价体系设计.....	15
3.1.	两点辨别觉检测.....	15
3.1.1.	实验准备.....	15
3.1.2.	实验过程.....	16
3.2.	肌力监测联合音乐疗法辅助康复.....	17
3.2.1.	实验设计.....	17
3.2.2.	纳入及排除标准设计.....	18
3.3.	康复效果评价体系设计.....	19
4.	实验设计与测试分析.....	22
4.1.	两点辨别觉测试.....	22
4.1.1.	实验目的.....	22
4.1.2.	实验过程.....	22
4.1.3.	实验结果.....	24
4.2.	压力监测联合音乐疗法测试.....	27
4.2.1.	实验过程.....	27
4.2.2.	实验结果.....	28
4.3.	康复效果评价.....	30
4.4.	实验总结.....	32
5.	总结与展望.....	33
5.1.	课题成果.....	33
5.2.	未来展望.....	33

6.	参考文献.....	35
7.	附录.....	38
7.1.	课题研究规划.....	38
7.2.	相关代码.....	39

2021 S.-T. Yau High School Science Award

1. 引言

1.1. 研究背景

外公患有高血压，初中时有一天，外公在说话的时候，我们发现他嘴角突然歪了，但是他自己完全不知道，送到医院，才发现非常危险，差一点就中风了，也正因为这件事，让我看到了医院中风病人的种种痛苦和艰难，我很希望用自己的微薄之力去帮助他们。2020年初，在上外附中直升考通过后，我开始系统学习脑卒中相关的知识，并开始着手研究一种脑卒中病人的辅助医疗检测装置，进行脑卒中康复评价相关的研究。

“脑卒中”（cerebral stroke）又称“中风”，是由于脑部血管突然破裂或因血管阻塞导致血液不能流入大脑而引起脑组织损伤的一组疾病。《2018 中国脑卒中防治工作工程报告》表明，我国 40 岁以上脑卒中患者有 1242 万人。郑茶凤等于 2012 年统计发现：在存活的脑卒中病人中，致残率约为 40%，严重影响病人及其家庭的生活质量。脑卒中患者病后有 55%~66% 会出现上肢功能障碍，其中手功能障碍约占 80%，例如在组织连贯动作、感受反馈力等方面存在明显的缺陷，重危害患者身体和心理健康，给患者家庭及社会带来了巨大的压力。

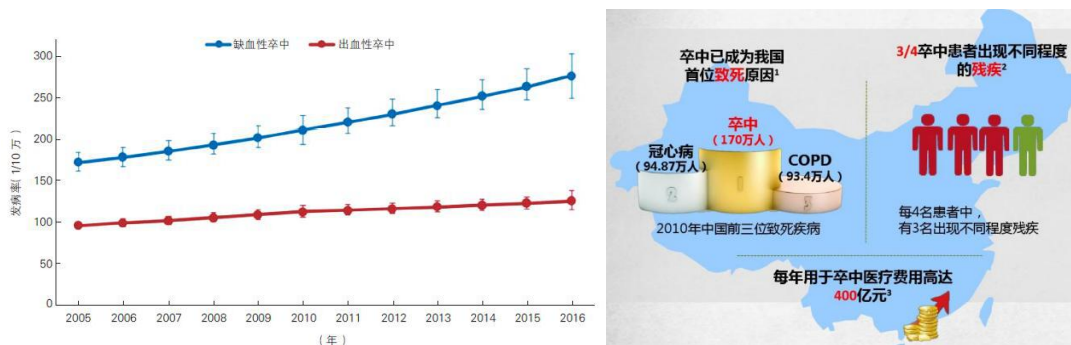


图1： 中国脑卒中发病率人数和危害

根据 Brunnstrom 分期，脑卒中后遗症康复治疗过程大致分为早期被动康复、中期半被动康复和后期主动康复阶段。对于患者的康复治疗，不同个体之间存在很大差异，因此，需要对患者制定出可行的、合理的、高效的康复训练方案。脑

卒中病人也会出现感觉功能障碍的问题，出现诸如无法辨别冷热、疼痛无感、触觉不灵敏等诸多问题，给日常生活带来了诸多不便甚至危险。一般临床医生会根据两点辨别觉的评估情况，有针对性的对病人进行感觉功能的治疗与训练。据康复医学研究表明，大脑的中枢控制神经存在可塑性，重复的康复训练有助于中枢神经系统的重建。

考虑到中国众多的脑卒中发病人数和脑卒中的巨大危害，本文针对脑卒中患者康复评价展开相关研究。

1.2. 研究现状

目前，国内外学者依据现代循证医学（Evidence-based Medicine, EBM）和连续被动活动（Continuous Passive Motion, CPM）理论，融合虚拟现实技术、人机交互技术、传感器技术和自动化技术在脑卒中患者手指康复领域进行了很多有益的探索。康复方法主要分为以下三类：①传统疗法；②理疗师疗法；③机器人辅助疗法——偏瘫患者借助机械电子设备进行自定义的主动或者被动康复训练，如德国 ORMED 公司的 ARTROMOT-F、美国国家康复医院的 HandSOME 等。

这些康复方法中，机器人辅助是未来疗法的必经之路，在医疗实践上主要是用于恢复患者肢体运动系统的功能。但是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，大部分机器人辅助研究更重于的手部主动/被动训练，然而关于躯体感觉功能的研究很少，对患者手部功能的触觉感受能力、运动功能检测以及康复评价体系是缺乏的。

触觉刺激作用于人体之后，由感觉传入纤维将刺激信号传送至中枢神经系统及其高级部位进行分析和综合，然后产生感觉，并做出判断。能够分辨最小距离的两点刺激称为两点辨别阈。两点辨别能力的降低可以提供感觉病理学的早期指示。吴景龙教授带领的研究组使用触觉辨别角度的方法，辨别阿尔茨海默氏病引

起的微小的认知功能紊乱。为了有针对性的对病人进行感觉功能的治疗与训练，临床上，病人需要在医生的帮助下进行两点辨别觉评估，借动手动工具，需要医生手动辅助操作，移动两点，并记录下手部每一个神经检测位置的评估数据。评估所需时间长，效率低。Guyton GP 等人通过引入压力指定敏感装置(PSSD)，创建了一种评估两点辨别力的创新方法，该方法使用计算机支持程序来计算两点接触的皮膚压力阈值。两点辨别距离——可以被检测为独立实体的两点之间的最小距离——并不是恒定的。通常，两点辨别的临床试验是使用未经校准的仪器进行的，如手持式别针或分划器，结果具有高度的主观性和易变性。



图2： 传统两点辨别装置与测量标准

刘建德等人设计了一个手感觉评估仪，根据器械上的2点辨别、振动、和纹理用于评估和训练的患者，但装置缺乏后期的评价方法和评价系统。沈津竹提出了设计柔性康复机器人手套的四大要素：功能要素、面料要素、结构要素和视觉要素，制作了一款柔性康复机器人手套，但是该手套仅仅适用于被动康复训练，缺乏相应的传感器测量训练过程中的数据。都悦来等人针对动态测量手指关节角度的需要,设计了基于PVDF压电薄膜传感器、电阻应变片和三轴加速度计的手指运动姿态监测方法。数据手套能够检测手部关节活动的角度、指端运动的距离、手指运动的力量等信息，可应用于电脑游戏、虚拟现实、手语识别、康复医学和机器人等领域。数据手套可采用不同的传感器技术，压阻式薄膜传感器轻便、价

廉，调理电路简单，应用较为广泛。



图3: PSSD 辨别装置（左）和手指运动检测手套（右）

手部运动功能的评价在临床康复中具有重要的意义，目前主要采用量表法，例如 Sollerman 手 ADL 能力测试、Fugl-Meyer 平衡量表、Brunnstrom 偏瘫运动功能评价法等，这些方法主要评价患者完成日常简单动作的能力，主观性强且不精确，无法区分不同的功能损伤模式，对手功能康复治疗的指导意义有限。



图4: 手部康复音乐疗法

脑卒中病人的康复护理治疗是一个枯燥、单调、反复、长期的过程，康复护理过程中的不适，往往使许多病人失去康复锻炼的信心。如何缓解脑卒中病人康复过程中的疼痛，从而增加其康复锻炼的依从性，进而改善早期康复的护理效果，一直以来备受关注。医疗共振音乐是由德国的彼得·休伯纳首先创作并于 1964 年开始研究的，它是基于将音乐作为一种治疗方案的理念创作的音乐，其创作目的在于利用它高度和谐的特性来影响机体内在的和谐，从而发挥治疗作用。音乐支持疗法(MST)是最常用于改善运动功能的音乐治疗方式，根据患者上肢功能情况，可以选择打击鼓板、敲击铝板琴或弹奏钢琴等不同训练方式。Schneider 等

首次系统地研究了 MST 对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能的影响，结果表明，MST 可有效地改善偏瘫患者上肢运动的速度、精确度和流畅度。施伯瀚等的研究表明简单的乐曲治疗可改善脑卒中患者单侧空间忽略症状。Tong 等的研究比较了可听见声音的乐器弹奏训练与消音的乐器弹奏训练对脑卒中患者上肢运动功能的影响。研究表明：医疗共振音乐可以利用其自身的高度和谐性来影响人体内在的和谐，可以对人体的血压、心率、情绪、疼痛及神经功能产生影响，降低肌肉僵硬程度，进而充分调动和发挥机体的潜能。

从以上可以看出，大部分研究更侧重于机器人辅助的手部主动/被动训练，然而在康复过程中，对患者手部功能的运动功能检测以及康复评价体系是必要且缺乏的。在康复过程中，音乐能够使患者放松，增加患者的训练积极性，音乐对于卒中患者康复具有促进作用。为此，本文提出了智能感知结合音乐疗法的脑卒中患者康复效果评价系统。

1.3. 课题意义与创新点

康复过程中对脑卒中患者进行康复效果评价，有助于医生实时调整康复及护理对策，实现康复智能化提供一系列的有效数据。

创新点如下：

1. 根据临床中的医学测量原理及测量标准，完成基于 Arduino 的二点辨别觉智能测量装置的设计与制作；
2. 设计了基于压力传感器的手指肌力检测手套，完成对被试者的肌肉控制能力在时间维度和空间维度的测试，并且设计了一个数据收集系统；
3. 设计了基于医疗音乐的康复训练模式，提高了被试者的康复依从性；
4. 建立了基于智能感知数据的康复训练效果的评价体系，为患者的个性化康复训练模式选择提供支撑。

1.4. 文章结构

下面是本文的结构：第一节中，介绍了脑卒中康复评价系统的研究背景和现状；第二节中，进行了机械设计，搭建了实验平台，并进行相关的软件程序设计；第三节中，设计了实验方法，评价体系；第四节中，通过整体功能测试和对照测试方法，来验证该康复评价系统的可行性以及科学性；第五章中，对整个文章进行总结。

2. 智能感知的手指康复评价平台设计

智能感知的手指康复评价平台包括了两个部分，分别是两点辨别觉检测机构 and 手指肌力检测手套。两点辨别觉检测机构可以检测脑卒中患者的感觉功能，即为从皮肤的信号感知及神经信号的传递；手指肌力检测手套可以检测脑卒中患者的控制功能，即为从神经到肌肉的信号传递，及对肌肉的控制能力强弱。

2.1. 两点辨别觉检测机构

2.1.1. 概念设计

医生使用两点辨别觉机构中，在屏幕上选择病人需被评估的部位。接着由部位所对应的正常值 x 进行初步检测，再询问患者闭目时是否能感到两点。若可以感到，医生选择 $-y$ 选项，装置会自动移动至 $x-y$ 的位置，进行再次评估。若不能感受到医生选择 $+z$ 选项，装置会自动移动到 $x+z$ 的位置，进行再次评估。如果评估正常，医生选择 OK 键，此数据被记录下来。如果评估不正常，选择 FAIL 键，也将数据记录下来。最后医生分析数据，查看情况，给患者针对性训练与治疗。

两点辨别觉机构的设计构想如下已完成：

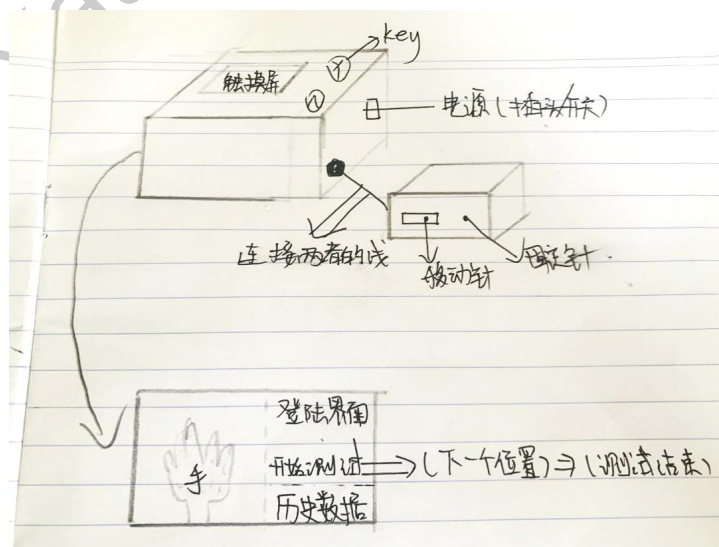


图5： 两点辨别装置的机构设想

该装置支持根据病人测试反馈动态调整测试条件，从而加快测试过程。同时装置通过软件编程，支持病人测试数据的自动存储与历史数据的动态回看，提高医生二点辨别觉的检测效率，也为医生回看某个病人的历史数据提供方便。由此可见，检测过程中，基于不同的测量结果，如何选择 z 数列实现检测算法的快速收敛，影响着最终检测效率。对病人而言，缩短两点辨别觉的检测时间，可以有效提升他们进行临床检测的积极性。

如上图所示，为本设计的结构装置图。图中包括两大部分：手持检测装置与触摸操作装置。手持装置内含电机，主要完成二点辨别觉检测中的两个接触点位置调整。触摸装置包括触摸屏、操作按键、电源等模块。定义如下：

1. 触摸屏功能：①可让医生方便选择检测部位；②可以方便病人录入信息；③可以迅速查询历史数据；④可以直接选择是否开始检测。
2. 按键功能：①方便医生直接选择对于某一距离的感应的成功或失败；②能够大大减少医生的操作难度
3. 电源功能：①提供电流与电压
4. 手持检测功能：①快速调节测试所需两点之间的距离；②提高测试效率

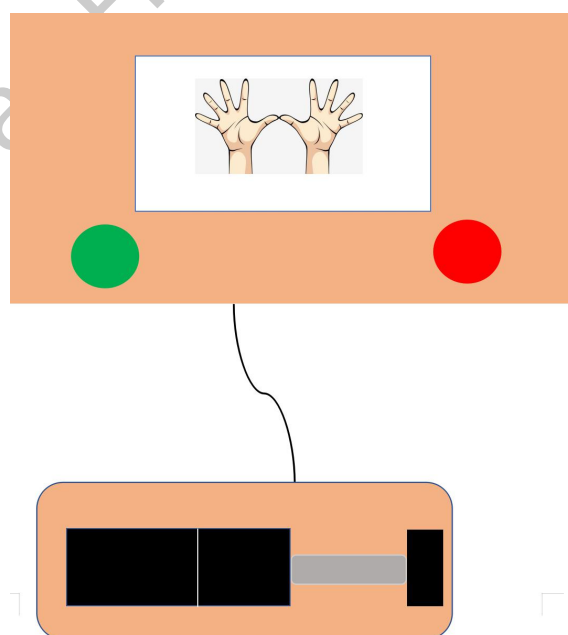


图6： 两点辨别觉检测机构的概念结构图

2.1.2. 两点辨别觉检测机构的硬件设计

根据上面设想的两点辨别觉检测机构的概念，设计的两点辨别觉检测机构如下图所示。

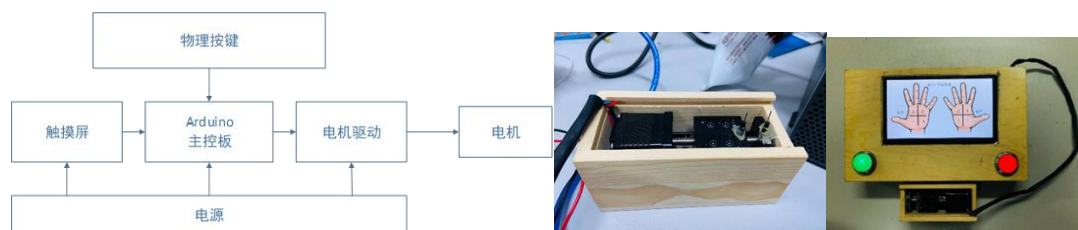


图7： 两点辨别觉检测机构的硬件框图

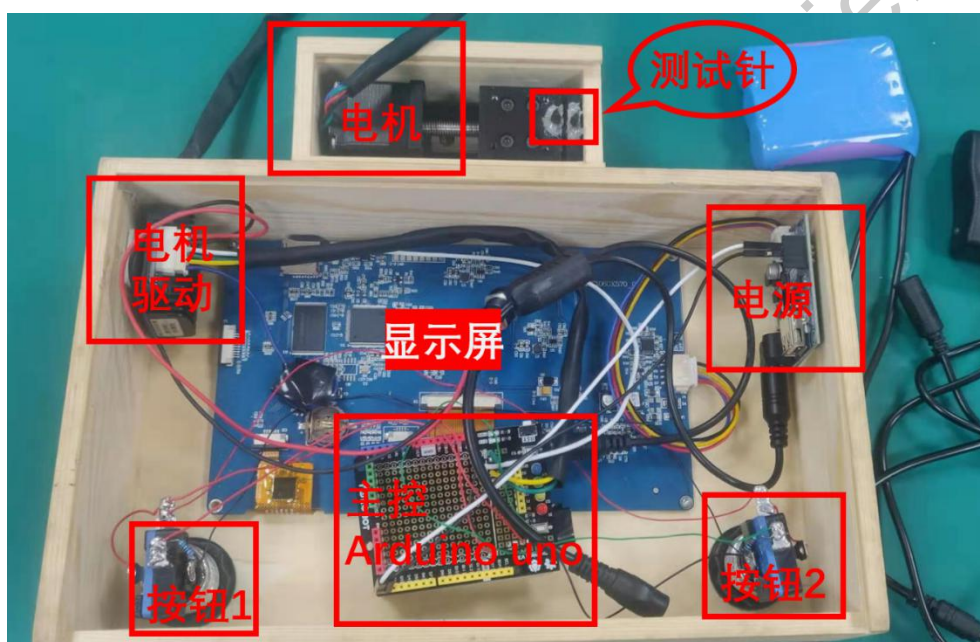


图8： 两点辨别觉检测机构原型（第一代）

如上图所示为硬件框图，主要包含 6 个硬件模块，分别是 Arduino 主控板，按键，电源，触摸屏，电机驱动和电机。

Arduino 主控板模块的功能是给触摸屏提供指令和驱动电机。电源的功能是给整个装置提供电流与电压。按键模块的功能是为主控板提供信息。触摸屏模块的功能是给主控板提供指令。电机驱动模块的功能是驱动电机。



图9： 两点辨别觉检测机构原型（第二代，小型化）

2.1.3. 两点辨别觉检测机构的软件设计

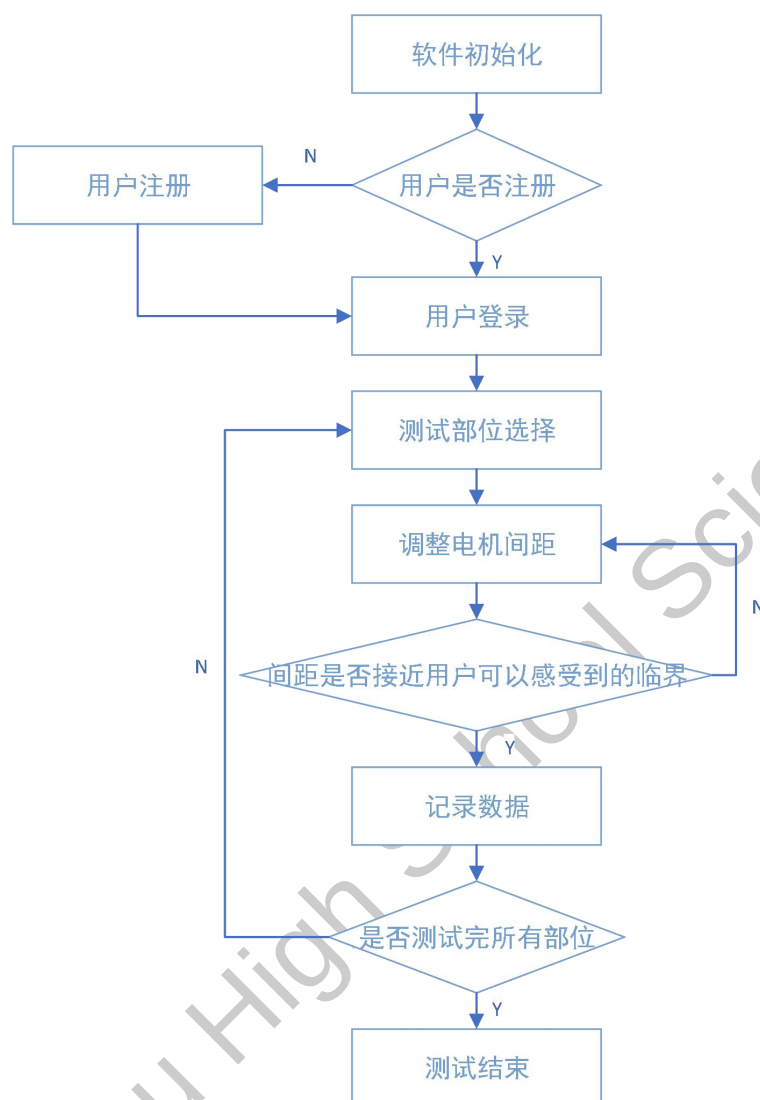


图10： 两点辨别觉检测机构的软件流程图

如上图所示为软件框图，主要包含 6 个软件模块，分别是软件初始化模块、非测试状态模块、用户登录模块、选择与测试模块、数据浏览模块、测试结束模块。

1、软件初始化模块是程序进入软件代码，准备开始运行代码。主要完成代码各种初始化工作，包括端口初始化和变量初始化。

2、非测试状态是指整个软件进入等待状态，等待下一步用户操作指令。

3、用户登录模块的作用是在医生协助下录入病人的手机号等身份信息，并且具备用户身份的简单检索，可以知道用户是首次评估还是多次评估。

4、选择与测试模块的作用是直接进入评估测试阶段，根据医生所选择的病人手部待测点，进行逐点测试，完成所有手部测试点的二点辨别觉功能评估，并得出病人本次评估的完整数据。

5、数据浏览模块的作用是方便医生对某个病人的本次评估数据或者历史评估数据进行综合查看与分析，并且可以直观的知道多次评估的数据变化情况，便于医生及时、精确地了解病人的康复情况，进而制定更加合理、有针对性、个性化的训练手段或者康复疗程。

6、测试结束模块的作用是使整个软件回到等待状态，等待操作者的进一步操作动作指令。

2.2. 手指肌力检测手套

康复医师根据患者的评价结果，将脑卒中的康复阶段分为软瘫期、痉挛期和痉挛后期，并根据不同康复阶段制定相应的康复训练计划。软瘫期（即康复期 Brunnstrom1-2 阶段）：，康复医师采用被动训练对患者进行康复训练，以保持患者关节活动度。痉挛期（即康复期 Brunnstrom3-4 阶段）：康复医师对拇指、食指和中指进行伸肌动作训练。痉挛后期（即康复期 Brunnstrom4-6 阶段）：康复医师采用主动训练方式，通过调整手的受力方向来训练抓握、对指等功能，提高手指运动速度及准确度。

在患指恢复评价策略的研究中，根据康复系统采集数据的不同会形成基于位置、速度、力等数据的几种评估策略。手指属于“小关节”，其位置和速度变化不如上下肢等“大关节”明显，故本系统将使用基于力场的评估策略。

患指的力觉信息将成为评估患指病态程度和康复情况的量化指标，本文设计了一个手指肌力检测手套，具备手指夹持力检测的功能。

2.2.1. 硬件设计

患者在康复训练过程中，手指所能提供的按压力是医生对病人手指康复情况

评估的重要参数，因此对患者手指压力的测量非常关键。在康复训练阶段，压力传感器可感知的拉力信息范围为 1N-100N。患者可使用大拇指和其他手指配合，完成对每个手指的康复训练工作。在测量手指与机构接触部位的压力时，对于传感器的大小体积有较高的要求，需要传感器相对较小，需要将其固定在指套中，同时可以弯曲，需要较好地贴合指套与手指的表面。选用的是 INTERLINK ELECTRIC 公司的薄膜压力传感器 FSR400。

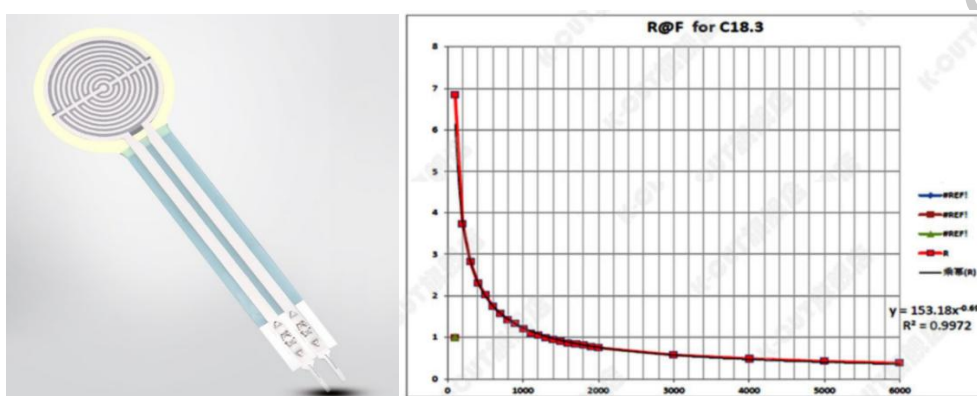


图11： 薄膜压力传感（左）和压力特性（右）

该薄膜压力传感器有两个电气接口，传感器本身的输出量是电阻，在有效测量面积所受压力变化时，其电阻值也随之变化而电阻的变化与构件的变形保持一定的线性关系，能输出不同大小的电阻值。

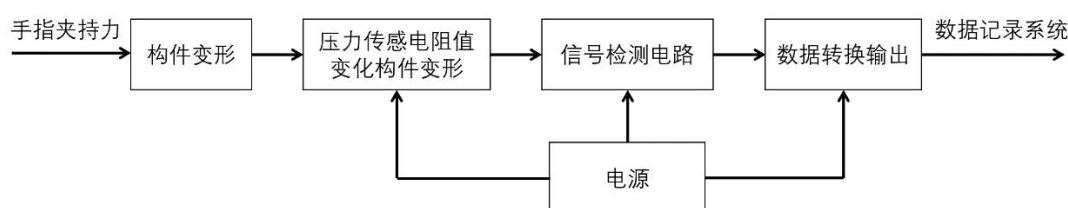


图12： 压力传感器检测原理

手在抓握或捏取物体时，在远指节指肚与物体间产生的压力可反映手指施力的大小，因此在远指节指肚处加装袋状结构用于固定薄膜压力传感器，并分别记大拇指到小拇指 5 个压力 (FRC) 传感器为 TFRC、I-FRC、M-FRC、R-FRC 和 L-FRC。薄膜压力传感器受力敏感区可弯曲，引起阻值改变。为了避免手部表面的不平整引起的传感器形变，保证负载以相同的方式均匀分布在受力敏感区，在传感器两

侧分别以同心方式粘贴了直径分别为 12.5mm 和 8mm, 厚度为 1mm 的硬质树脂圆片。较大直径圆片粘贴在传感器背侧, 覆盖整个敏感区域, 较小直径圆片粘贴在传感器正面。

压力传感器分别与各自的信号调理电路相连, 信号调理电路均为电流转电压电路。调理电路输出接入一个 16 通道、12 位的模数转换器 AD7490。微控制器选择 Arduino, 控制模数转换并将转换结果通过 USB 线传输给上位机存储, 以便后续处理。传感器信号采样率为 50Hz, 上位机接收及处理程序可以使用 MATLAB 软件编写。

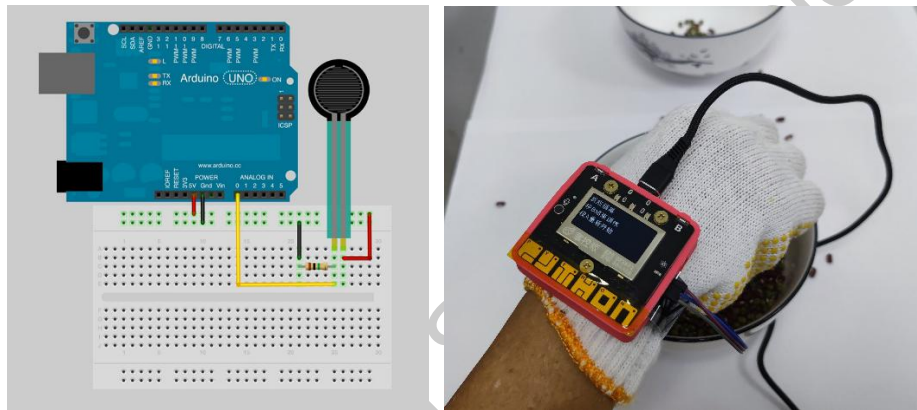


图13: Arduino 连接示意图 (左) 和肌力检测手套 (右)

简单和复杂的手动操作都可以通过高分辨率小传感器进行精确和动态测量。应用在进行手部动作时, 了解并优化患者的训练强度。在康复过程中, 量化人们自然使用的力量, 确定手产生的力的上限和下限。

2.2.2. 软件设计

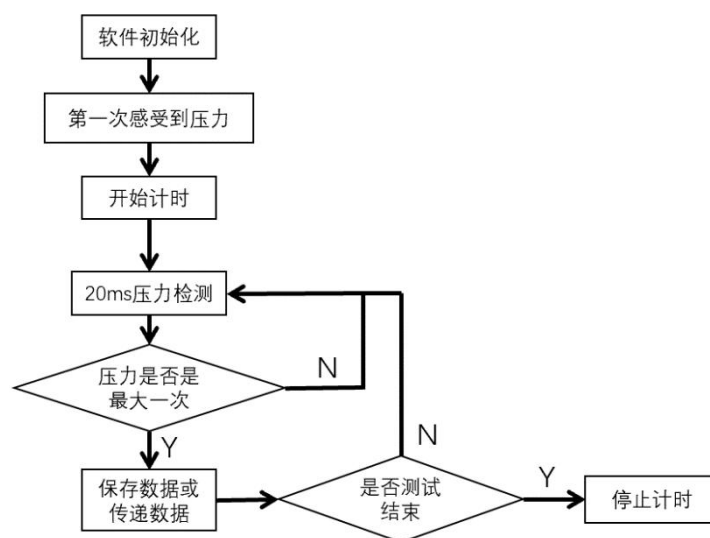


图14： 手指肌力检测手套的软件流程图

在康复过程中，患者使用该手指肌力检测，完成相应的康复游戏流程，比如简单的将红白物体分为两侧。在压力传感器第一次感受到压力前，认为患者还没有开始检测，然后以 500HZ 的频率不断检测手指的压力，直到接收到测试完成的信号。在游戏开始的时候，开始计时，完成的时候计时结束。这样依据游戏完成过程中的压力和时间，进行一系列的数据分析。

在实验开始前，需要对手套测量的效果进行校准。数据手套的有效性是通过评估手套传感器测量值与不同压力负载的一致性得到的。压力负载对应于所施加的砝码的质量，分别测量对应于不同质量砝码的输出电压，使用一次函数对压力负载和电压进行拟合。

3. 实验方法和康复评价体系设计

3.1. 两点辨别觉检测

3.1.1. 实验准备

人类的感官评估不是一个简单的过程。仅依靠受试者的描述来评估皮肤感觉

是不合适的，因为它反映了受试者较高的认知和语言技能，例如使用适当的词语来描述传入感觉的能力。皮肤感觉测试也取决于患者合作，并通常假定患者遵守。患者必须始终保持专注，并在多次测试中有坚定不移的能力达到相同的标准，感觉被简单地记录为存在、配对或缺席，一种严格、科学的两点辨别感觉测试方法至关重要。如果要使结果可靠和可量化，皮肤感觉通过一种简单且易于执行的测试来确定。

当用测试两点辨别力时，操作员应该避免两点刺激力的差异。两点辨别更严格地定义为标准化两点刺激的正确识别率。受试者在家中/医院接受评估。所有的测试都是在十点到十一点之间进行的，所有感官评估都是由同一测试者做出的。试验对象坐在沙发上，以确保血液和神经供应不会受到任何阻碍。在进行两点辨别试验之前，未使用酒精或任何其他术前防腐剂擦拭待测皮肤部位，且测试人员在试验前或试验过程中未接触手指。这是为了确保受试者只接受测试刺激，而不是潜在的混乱刺激。在测试过程中，噪音和干扰被保持在最低限度，评估以平静和从容不迫的方式进行。在每次测试开始前，向每个被测的对象朗读准备好的文本，规范操作过程中的注意事项。所有受试者数据均记录在单独的数据表中。

3.1.2. 实验过程

在每次评估之前，受试者将展示测试设备，并在每个受试者的手上演示其使用。受试者被告知在测试期间，将使用一个或两个点刺激皮肤。在足底皮肤部位的测试过程中，每个皮肤区域用设备进行一次测试。按照指示的顺序，向受试者提醒每个刺激的方法，并要求他们说明是否检测到一个或两个刺激点。

医生使用装置中的 LED 屏幕输入病人的手机尾号，若病人在系统中有病例则直接登录，若没有则创建新账号。接着在屏幕上选择病人需被评估的部位。在此部位用步进电机设置的初始值 20mm 进行初步检测，再询问患者闭目时是否能感到两点。若可以感到，医生选择绿色按钮，装置会自动移动 10mm 位置，进行

再次评估。B 若不能感受到医生选择红色按钮，装置会自动移动到 15mm 位置，进行再次评估。如果评估正常，医生选择屏幕上的记录选项，此数据被记录下来后步进电机回到初始值。最后医生分析数据，查看情况，给患者针对性训练与治疗。对所有受试者的试验部位按相同顺序进行评估。

为了测试设备的可重复性，TPD 测试记录了一名正常受试者的手指区域，在 5 秒的间隔内连续进行了大约 15 次试验。为了计算可重复性，数据的标准偏差平均值使用以下公式计算。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (xi - u)}$$

在每个试验阶段，测量两点辨别力的装置应用一次，并与皮肤接触最多 5 秒。在不同的手指表面的五个测试点中的每一个，每个受试者每次测试总共给出十个读数。他们不允许观看测试，对两点辨别刺激的正确反应得 1 分，错误反应得 0 分。当受试者无法确定是否应用了一点刺激或两点刺激时，得分也为 0。计算每个子项在单个分数下的正确回答总数。

3.2. 肌力监测联合音乐疗法辅助康复

3.2.1. 实验设计

中风病人脑损伤后，常常出现异常的运动模式，这是由于肌肉的异常收缩所致。临床上训练手指的抓握能力的活动项目很多，因为所有的动作都与手的操作有关系。开始可以先练习抓握，练习握球以恢复手部力量、功能。

精细活动训练可以选择红绿豆分拣实验，有利于提高手的灵巧性；又是训练手指对粗、细、大、小、方、圆等不同规格、不同形状的物体抓握的良好机会。在红绿豆分拣实验中，患者手功能的恢复可以通过训练手指抓握和精细动作的活动来进行评估。在实验过程中，将等数量的红豆和绿豆混合，患者使用手指将红豆绿豆捡起，分到两个不同的容器中，记录患者的完成时间和在过程中的手指的

夹持力。



图15： 红绿豆分拣实验

对照组患者实施常规护理干预，观察组患者在常规护理的基础上进行个性化音乐康复护理干预，音乐播放前，做好房间隔音降噪的准备，屋内光线应当较为柔和，患者可尽量放松，声音不宜过大，70dB 左右为佳，一天播放 3 次，一次 10min 左右即可。询问患者喜欢的音乐类型及演奏者，尽可能结合其喜好来选择音乐。选取舒缓、轻柔的纯音乐播放，指导患者跟随音乐进行深度呼吸，同时用语言引导患者逐一放松全身各部位的肌肉。患者充分放松后，开展红绿豆分拣实验。期间要注意患者身体状态，一旦出现皱眉或身体肌肉紧绷等情况则需要轻声提醒其放松。

音乐播放结束后，医护人员应当积极和患者沟通，增进双方感情以获取患者信任，鼓励患者勇敢述说内心真实想法，了解患者听完音乐后的心理感受，根据患者反馈及时调整后续治疗方案。



图16： 压力监测联合音乐疗法

3.2.2. 纳入及排除标准设计

纳入及排除标准纳入标准：患者经脑 CT 检查证实首次或多次发作后无运动

障碍；患者具有一定的认知能力；患者及家属知晓并签署同意书；患者自愿参加本试验且能配合完成训练和功能评估。经康复医师进行神经功能评估和肌力评定等诊断，存在肢体及手功能异常，有进行康复锻炼的必要性；

排除标准：排除严重痉挛或其他运动禁忌证患者；排除失语症或由于其他原因无法交流的患者；排除理解困难和有严重心脏和精神疾病患者；排除住院期间病情恶化或继发性脑出血患者；排除理解和沟通困难及无法配合者；排除住院期间病情恶化的患者。

3.3. 康复效果评价体系设计

根据前面已经设计的两点辨别觉检测机构 and 手指肌力检测手套，完成康复效果评价体系的设计。

两点辨别评定标准设计。0 级：神经支配区感全失；1 级：有深部痛觉存在；2 级：浅表痛觉与触觉一定程度上存在；3 级：浅表痛与存在，有感觉过敏；4 级：浅痛觉触觉存在；5 级：有两点别(7-11mm)；6 级：感觉正常，两点辨别觉小于 6mm，实体感觉存在。

肌力评定标准设计。0 级：手指高度屈曲、拘挛、强握，阻力很大，不能主动伸展，被动伸展十分困难；1 级：手指中度屈曲、拘挛，半握拳，不能主动伸展，有明显抵抗力，被动伸展比较困难；2 级：手指轻度屈曲、拘挛，不能主动伸展或主动伸展不全，被动伸展有轻度抵抗；3 级：手指稍屈曲，稍有轻微拘挛，主动伸展不全，被动活动有轻微的抵抗；4 级：手指稍屈曲，无拘挛，可主动伸展，被动活动有轻微的抵抗；5 级：手指无屈曲，无拘挛，主动伸展自如，被动活动无抵抗。

生活能力评定标准。将日常生活动作分为 10 个项目，包括进食、洗澡、修饰、穿衣、控制大便、控制小便、用厕所，床椅转移、平地走 45m、上下楼梯，动作从易到难，积分 100 分为正常；1 级， ≤ 20 分为生活完全依赖；2 级，21~

40 分为重度功能障碍，生活依赖明显；3 级，41～59 分为中度功能障碍，生活需要帮助；4 级，≥60 分为生活基本自理。

表 1. 康复效果评价得分表设计

组别	时间	两点辨别 (D)	手指肌力 (S)	生活能力 (P)	心理状态 (H)	综合评分 (C)
患者组	治疗前					
	治疗后					
	t 值					
	p 值					
健康组	治疗前					
	治疗后					
	t 值					
	p 值					

基于量化感觉评估的结果给予脑梗患者手部感觉运动训练，并探讨对脑卒中患者的感觉功能、运动功能、日常生活活动能力恢复方面的影响。方法选取脑卒中患者 30 例，按照随机数字表法将其分为两组，治疗组和对照组，每组 15 例。治疗组根据感觉评估结果给予每天 15min 手部感觉运动训练、15min 常规作业治疗；对照组给予每天 30min 常规作业治疗，共 20 次(5 次/周，共 4 周)。治疗前后分别使用感觉评估表评估感觉功能、手指运动功能评分评价患者的日常生活活动能力。

综合评分的算法如下：

$$C = a_1 * D + a_2 * S + a_3 * P + a_4 * H$$

其中，两点辨别觉的得分为 D，手指肌力的得分为 S，生活能力状态的得分为 P，心理状态的得分为 H，综合评分的得分为 C。a₁、a₂、a₃、a₄ 为和医生探

讨得到的合理系数。

2021 S.-T. Yau High School Science Award

4. 实验设计与测试分析

4.1. 两点辨别觉测试

4.1.1. 实验目的

1. 测试两点辨别觉检测机构是否具备自动调整两个探测针之前的距离，从而实现两点辨别觉检测的功能；
2. 测试此设备检测在一位完整病人两只手掌上所有待测点的耗时，与通过经典测试手段进行对比，查看此设备是否提高效率。
3. 通过现场测试与医生使用，了解医生与病人对此设备使用的想法，并加以改进。

4.1.2. 实验过程

1、以历史病人与医生之间的操作为例

- 医生首先打开开关，屏幕进入主界面。
- 输入病人手机号登陆后，显示历史记录、手指选择、退出登录三个按键。
- 医生选择历史记录，屏幕将出现病人的历史数据表格，选分析曲线则能得到折线图。
- 点击返回，回到界面后选择手指选择，医生可选择需要测试的部位进行后续检测。
- 装置将根据历史数据移动至某一位置，开始对先前选择部位进行检测。
- 检测。
- 检测完成。
- 数据被记载存入历史数据中。

2、以新病人与医生之间的操作为例

- 医生首先打开开关，屏幕进入非测试状态。
- 信息录入(病人手机号)，search 后，无历史记录，则创建新的用户资料。
- 创建完成后直接登录，进入历史记录、手指选择、退出登录三个键的界面。
- 医生选择具体部位。
- 点击开始测试键。
- 装置将根据大数据移动至某一位置，开始对先前选择部位进行检测。
- 检测。
- 检测完成。
- 数据被记载存入新建档案中。

3、检测过程：

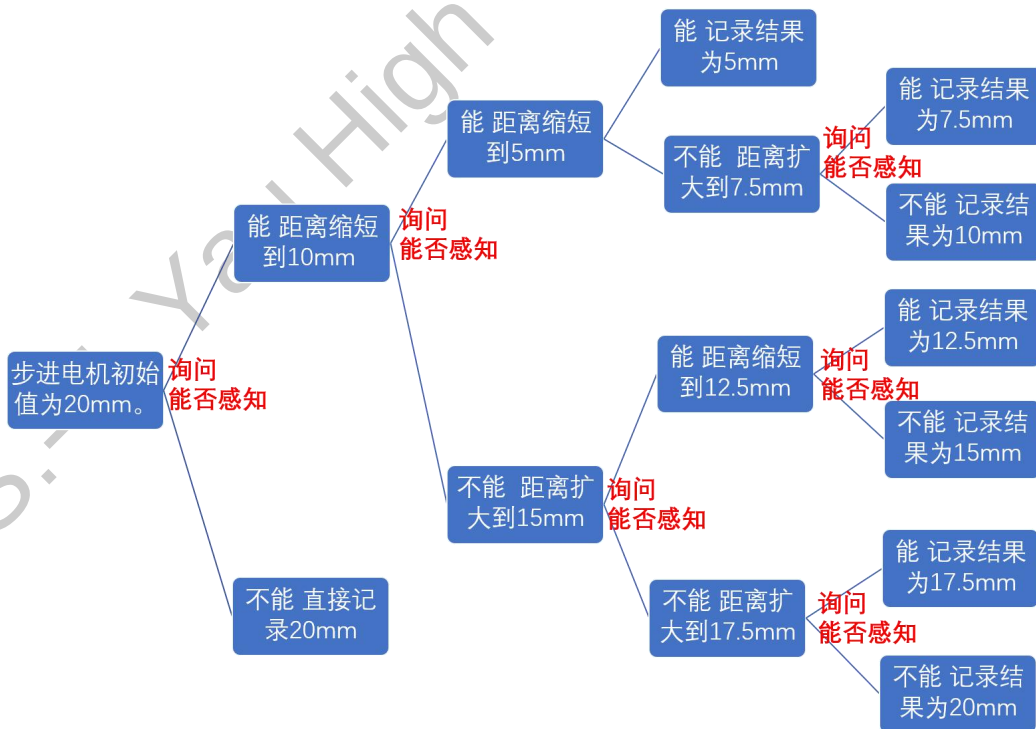


图17： 检测过程逻辑图



图18： 正常人正在使用装置进行测试（第一代设备）



图19： 患者1正在使用装置进行测试（第二代便携设备）



图20： 患者2正在使用装置进行测试（第二代便携设备）

评估过程如下：医生使用装置中的 LED 屏幕输入病人的名称，接着在屏幕上选择病人需被评估的部位。接着由部位所对应的正常值 x 进行初步检测，再询问患者闭目时是否能感到两点。若可以感到，医生选择-y 选项，装置会自动移动至 $x-y$ 的位置，进行再次评估。B 若不能感受到医生选择+z 选项，装置会自动移动到 $x+z$ 的位置，进行再次评估。如果评估正常，医生选择 OK 键，此数据被记录下来。如果评估不正常，选择 FAIL 键，也将数据记录下来。最后医生分析数据，查看情况，给患者针对性训练与治疗。

4.1.3. 实验结果

根据第 3 章中两点辨别觉检测的实验设计，和上面的实验过程，对实验数据进行记录，得到如下的实验结果：

表 2. 正常人和脑卒中患者在两点辨别觉的比较（部分数据）

			拇指	食指	中指	无名指	小拇指	传统测	机器测
年龄	左右手		/mm	/mm	/mm	/mm	/mm	试时间	试时间
								/分钟	/分钟
患者 1	58	左手(患侧)	11.4	13.1	12.3	10.8	12.6	96	23
		右手(健侧)	3.9	4.5	4.3	4.9	5.3	81	18
患者 2	65	左手(患侧)	12.3	11.5	11.6	13.1	10.2	95	24
		右手(健侧)	4.2	4.6	5.0	4.4	3.5	77	17
患者 3	72	左手(健侧)	5.5	4.8	3.0	4.3	4.7	82	21
		右手(患侧)	13.3	11.7	9.5	12.0	14.6	91	18
正常人	57	左手	3.5	3.7	3.4	4.3	3.6	79	19
1		右手	3.8	3.9	4.0	5.1	4.6	74	16
正常人	66	左手	4.2	4.6	5.3	3.4	4.5	75	18
2		右手	3.9	3.2	4.2	4.6	4.4	77	20
正常人	74	左手	3.4	4.0	3.8	3.4	3.6	80	21
3		右手	4.6	3.1	4.2	4.6	3.2	73	17

表 3. 卒中组健患侧感觉功能分析

	拇指/mm	食指/mm	中指/mm	无名指/mm	小指/mm
健侧	4.2	4.6	4.8	4.3	4.6
患侧	12.4	12.1	11.5	12.5	12.3
t	2.973	2.649	2.489	2.389	2.198
p	0.0403	0.0357	0.0337	0.0427	0.0328

脑卒中患侧感觉功能较健侧显著减退,提示医务人员应当关注卒中后患侧的感觉功能障碍。详细的感觉得评定有助于医务人员明确患者感觉功能情况,对发生

感觉功能障碍的患者采取有针对性的治疗措施，以提高其感觉功能，并有助于评价治疗措施疗效，促进患者康复。由于感觉损伤，患者对于有害刺激反应迟钝，医务人员在治疗过程中应注意保护患者。

表 4. 正常老年人两侧感觉功能分析

	拇指	食指	中指	无名指	小指
左侧	4.2	4.4	4.1	4.3	4.0
右侧	4.1	4.0	4.2	4.1	3.9
t	0.76	0.760	0.712	0.376	0.642
p	0.465	0.482	0.507	0.382	0.421

对照组左、右侧感觉功能没有差异，说明正常情况下，左右上肢的感觉功能应当基本相同。对照组左、右侧分别与卒中组健侧比较，也无统计学差异，表明单侧偏瘫的卒中患者感觉功能障碍仅局限于患侧，健侧感觉功能不受影响，研究结果与脑卒中常见偏身感觉障碍这一经典观点相符。

实验结论：

同传统人工操作方法对比，该系统两点辨别觉检测的效率提升 75%；对卒中组患者健、患侧触觉及两点辨别觉测试结果进行分析，结果见上表患侧拇指、食指两点辨别觉减退($p < 0.05$)。

健康组左、右侧及其于卒中组健侧感觉功能比较分析将健康组左右两侧各项感觉指标，以及卒中组健侧与健康组左、右两侧各项感觉指标分别进行数据处理，分析比较。比较健康组左、右侧各项感觉指标，结果显示健康组左、右侧触觉及两点辨别觉差异不具有统计学意义(各项指标 $p > 0.05$)；卒中组健侧分别与健康组左、右侧比较，脑卒中患者健侧与健康左、右侧感觉功能无差异(各项指标均 $p > 0.05$)。这也表明，在脑卒中患者的临床感觉检查中，健侧与患侧对比以确认患侧是否存在感觉损伤的检查方法是可行的。

4.2. 压力监测联合音乐疗法测试

4.2.1. 实验过程

实验目的：测试音乐疗法在脑卒中患者康复过程中的效果；音乐疗法联合运动疗法治疗 PSF 患者，并观察其对康复依从性、生活质量的影响。

将符合标准的脑卒中患者随机分为试验组和对照组。对照组实施常规治疗方案，在实验过程中，将等数量的红豆和绿豆混合，患者使用手指将红豆绿豆捡起，分到两个不同的容器中，记录患者的完成时间和在过程中的手指的夹持力。结合患者实际情况制定给药方案，同时配合常规康复锻炼。

使用采集模块完成对力传感器感知的患指力觉信息的采集。采集卡通过串口转 USB 线与计算机建立连接，实现与计算机之间数据和指令的传输。采集模块特以 20 ms 为周期采集力传感器的数据信息，即患者的力觉信息并通过串口通信传给上位机的虚拟现实模块进行分析处理。

观察组实施音乐疗法，选择并收集符合患者喜好的音乐（分为欢快型、动感型、舒缓型），不同音乐条件下干预措施包括：在舒缓音乐下促使患者平静心态，为后续锻炼做好心理准备。同样完成对照组的治疗方案。

在多个康复周期中，多次完成上面的实验，最后对照组和观察组的数据进行分析。



图21： 压力传感器手套，及康复训练测试分拣豆子



图22： 患者2正在使用压力手套进行测试

4.2.2. 实验结果

根据第上面的实验设计，对实验数据进行记录，得到如下的实验结果：

表 5. 单个患者在康复过程中压力手套测试数据记录

患者 1 的康复周期 (恢复效果好-64 岁)	左右手	食指	中指	无名指	小拇指	完成时 间 /分钟
周期 1	左手 (患侧)	0.44	0.46	0.40	0.35	70
周期 2	左手 (患侧)	0.49	0.48	0.45	0.38	68
周期 3	左手 (患侧)	0.53	0.50	0.47	0.41	64
周期 4	左手 (患侧)	0.56	0.52	0.49	0.43	63
周期 5	左手 (患侧)	0.60	0.58	0.51	0.47	59
周期 6	左手 (患侧)	0.61	0.62	0.52	0.50	56

表 6. 两组患者治疗前后患侧最大力量($\bar{x} \pm s$)

组名	食指/lbs	中指/lbs	无名指/lbs	小拇指/lbs
实验组-治疗前	0.44+0.27	0.46+0.26	0.40+0.27	0.35+0.27

实验组-治疗后	0.61+0.31	0.55+0.31	0.52+0.31	0.50+0.31
对照组-治疗前	0.46+0.27	0.46+0.27	0.46+0.26	0.38+0.28
对照组-治疗后	0.51+0.28	0.51+0.28	0.50+0.28	0.42+0.27

对于施力常用的利手，其拇指与食指指腹捏力、拇指与中指指腹捏力、指尖捏力、侧捏力、握力平均值女性分别相当于男性的。从手指施力上看，拇指指尖相连屈肌拉伸的力最大。不论男女性、利手或非利手，所侧捏力中，拇指与食指指腹捏力为最大，施力大小与手指解剖学特征完全吻合。

表 7. 在康复过程中有无音乐辅助压力测试数据记录

姓名	年龄	健侧患侧	听音乐时	不听音乐时	听音乐时	不听音乐时
			完成时间 /分钟	完成时间 /分钟	心情状态 (百分制)	的心情状态 (百分制)
患者 1	56	患侧	66	73	65	70
患者 2	60	患侧	64	70	70	75
患者 3	63	患侧	86	80	50	55
患者 4	70	患侧	59	63	40	50
正常人 1	65	健侧	36	44	80	70
正常人 2	80	健侧	37	32	95	85
正常人 3	73	健侧	31	37	85	70
正常人 4	54	健侧	33	39	60	65

根据上面的结果，比较在有无音乐辅助时，患者的康复依从性：完全依从：患者完全遵从医嘱，并积极主动配合康复治疗；部分依从：患者接受医嘱，但不主动配合治疗；不依从：患者不接受治疗，不配合训练。以完全依从+部分依从为总依从，计算总依从率。

表 8. 患者护理满意程度比较 n (%)

组名	患者数量 n	完全依从	部分依从	不依从	总体依从
观察组	20	15 (75%)	4 (20%)	1 (5%)	19 (95%)
对照组	20	9 (45%)	5 (25%)	6 (30%)	14 (70%)
X ²	-	-	-	-	4.329
P	-	-	-	-	0.037

实验结论：

音乐有助于提高脑卒中病人进行功能锻炼的依从性。医疗共振音乐可通过缓解病人康复过程中的疼痛，避免病人情绪出现障碍和心理压抑，可使人的生理功能及运动功能得到一定的提升，进而对病人的康复依从性产生积极作用。参与式音乐治疗(如治疗性歌唱)与感受式音乐治疗(如聆听音乐)均能有效缓解脑卒中患者的负面情绪。

4.3. 康复效果评价

根据第 3 章中康复效果评价体系的设计：

$$C=100+ a_1*D+ a_2*S+ a_3*P+ a_4*H$$

通过和医生商量，认为在手指康复评价中：①两点辨别觉在评价中风患者中占据最重要的比例，同时为了考虑到两点辨别觉得量程 0-20mm，方便归一化处理，选取系数 $a_1=0.35*5$ ，为了保证整体分数为正，所以添加基准分为 100；②手指肌力，手是人体不可或缺的器官，手部功能影响了患者在进行某些日常生活抓握和物体操作的功能，拇指与食指指腹捏力量程一般为 0-20/1bs，选取系数 $a_2=0.25*5$ ；③生活能力，主要指完成日常活动时一些常见的动作，比如肢体空间位置认知、伸臂及抓握训练、日常生活动作训练，打分制为百分制，生活能力评分：10 个部分，33 项具体项目，总分 66 分；手与腕运动功能包括在上肢运动功能评分中，共 3 个部分，12 项具体项目，选取系数 $a_3=0.3*1.5$ ，④康复过程中患者的心情对于康复效果有一定的影响，但是物理效果更加重要，打分制为百分

制，选取系数 $\alpha=0.1$ 。

根据上面的实验结果，对实验 4.1 和实验 4.2 数据中采集的数据进行计算，得到如下的实验结果：

表 9. 康复效果评价得分表结果($\bar{x}+s$)

组别	时间	两点辨别 (D)	手指肌力 (S)	生活能力 (P)	心理状态 (H)	综合评分 (C)
患者组	治疗前	12.27+7.05	1.10+4.97	43.00+22.42	52.03±10.23	104.45
	治疗后	9.00+14.36	1.50+3.70	55.27+26.60	70.89±11.17	118.08
	t 值	3.76	7.61	4.77	9.971	-
	p 值	0.002	0.001	0.001	0.000	-
对照组	治疗前	11.62+5.07	1.18+1.83	38.67+22.53	51.94±10.84	103.73
	治疗后	10.36+6.17	1.27+1.90	42.87+20.21	60.37±11.24	108.73
	t 值	5.48	2.35	1.16	4.320	-
	p 值	0.000	0.034	0.264	0.000	-

在治疗过程中，医生手动进行两点辨别觉得检测，并且通过检测患者得手指夹持力并记录，医生根据临床表现和康复量表主观打分，作为患者康复效果的评价参考。

表 10. 医生根据临床和康复量表主观打分

组别	时间	两点辨别 (A)	手指肌力 (B)	临床主观评价 (E)	医生综合打分-百分制 (F)
患者组	治疗前	12	1.0	42	53
	治疗后	9.1	1.4	58	62
对照组	治疗前	11.2	1.0	43	52
	治疗后	10.0	1.3	51	55

目前国内临床上缺乏基于量化的康复效果评价体系,对比公式和医生综合打分,可以计算出:

康复评价公式打分: $(118.08-104.45) \div 104.45=0.13$

医生综合打分: $(62-53) \div 53=0.1698$

评价结果一致性=康复评价公式/医生综合打分=76.56%

依据手功能康复评价体系得出的结论与医生凭经验得出的结果一致性达76%。量化感觉评估的结果给予脑梗患者手部感觉运动训练对其治疗前后的感觉功能、运动能力及日常生活活动能力(Activity of Daily Living, ADL)的影响,可以作为医生评价康复效果评价得一个参考指标。

4.4. 实验总结

同传统人工操作方法对比,该系统两点辨别觉检测的效率提升75%;基于医疗音乐的康复训练提高了被试者的康复依从性,依据手功能康复评价体系得出的结论与医生凭经验得出的结果一致性达76%。实验结果表明,该评价系统可以完成脑卒中患者排查、康复训练中病人运动能力和康复效果量化的功能,值得推广。

5. 总结与展望

5.1. 课题成果

本文主要对智能感知结合音乐疗法的脑卒中患者康复效果评价系统进行了研究与设计，主要完成了系统机械结构设计与分析以及控制系统设计与实现、康复效果评价机制设计等工作，现将本课题的研究内容总结如下

1. 本文结合国内外手功能康复领域研究现状，根据临床中的医学测量原理及测量标准，完成基于 Arduino 的二点辨别觉智能测量装置的设计与制作；
2. 设计了基于压力传感器的手指肌力检测手套，完成对被试者的肌肉控制能力在时间维度和空间维度的测试，并且设计了一个数据收集系统；
3. 设计了基于医疗音乐的康复训练模式，提高了被试者的康复依从性；
4. 建立了基于智能感知数据的康复训练效果的评价体系，为患者的个性化康复训练模式选择提供支撑。

5.2. 未来展望

1. 整体系统的智能化程度还不足够，后面跟将两点辨别觉检测机构、手指肌力检测手套做到一体化，并且足够小型化；
2. 目前的智能感知结合音乐疗法辅助脑卒中康复的研究取得了一定的成效，但是受到实验时间、实验场景、实验人员的限制，我们的观察周期还是非常短的，我们后面将观察更多的脑卒中患者，探索更加科学的综合评价体系；
3. 康复评价体系的表格划分还不够细致，后面将针对不同的康复等级和康复效果，丰富评价的打分细则，为更细致的康复策略选择提供理论依据。

6. 致谢

在此，我想感谢在一路上给我提供过帮助，一直支持我的所有人与事物。首先是我的外公，我的课题就是因他而有了灵感，想帮助他这一类手脚不便的病人。他今年已经将近八十岁了，很感谢他在一路上对我的支持，小时候一直到现在给我的爱与关照。其次我想感谢我的父母，我从小时候开始的梦想就是成为一名科学家，帮助社会上的人，父母这两年一直支持着我做科研，实现自己的梦想，他们这两年苍老了很多，我也想在此对他们说一句：“我爱你们！”。以前一直未能表达我对他们的爱与支持的感谢，希望他们能一直开心，一支年轻。接着，我想感谢一下我复旦大学英才计划的导师赵运磊教授，作为一名院长，他能在百忙中抽出一点点时间给我一些课题上无论是想法还是实践上的指导，我十分感谢，在此也感谢英才计划这个平台，能让我接近自己梦想的高校，做科研，向自己的梦想更进一步。我也想对我学校的科创及信息指导老师，朱皓斌老师表以感谢，感谢他在想法及申报上给予我的一些帮助，让我在科研的道路上更进了一步。我还想感谢，能够配合我做实验与调研的老年人，他们都很开朗，也十分可爱，我这次前往社区医院做实验，感受到了身边社会上的温暖与温度，很感谢他们，为这个世界添上一份不一样的色彩。

感谢一路上给予我帮助，支持与爱的所有人，若没有你们，我不可能完成课题的研究，若没有你们，我更不可能感受到社会上的那一份爱，谢谢你们！

7. 参考文献

- [1] 王极盛, 幸代高, 孙长华, 林淑惠. 针刺对两点辨别觉的作用. 心理学报, 1980 年第 4 期.
- [2] 邵凡, 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. 老年医学与保健, 2018 年第 24 期.
- [3] 张寿林. 对局部振动作业工人指尖深度觉及两点辨别觉检查的评价. 卫生研究, 1984(05):39-42.
- [4] Guyton, G. P. , and C. L. Saltzman . "The Diabetic Foot: Basic Mechanisms of Disease." Instructional course lectures 51.7(2002):169-181.
- [5] 施凯兵, 周振宇, 施晓健,等. 吻合神经的掌背动脉逆行岛状皮瓣修复手指掌侧缺损的效果观察. 交通医学, 2020(4).
- [6] 祁鸣, 谢靖, 张桂青,等. 音乐治疗配合吞咽功能训练对卒中后吞咽功能障碍患者的影响. 重庆医学, 2017.
- [7] Lau K T, Lau M L, Chan C. Hand sensory assessment device. US, 2011.
- [8] 吴景龙, 杨家家. 利用触觉角度辨别功能异常对阿尔茨海默氏病的早期诊断方法// 2011 全国老年痴呆与衰老相关疾病学术会议第三届山东省神经内科医师(学术)论坛.
- [9] 刘豪杰. 基于运动感知的手指康复训练系统的设计与实现. 郑州大学.
- [10] 王甦, 张铭. 附加点作用下两点距离的触觉辨别. 心理学报, 1995(2 期):113-120.
- [11] 孙慧, 张艳. 简易日常生活功能训练在急性脑梗死偏瘫患者中的应用. 中西医结合护理(中英文), 2019, 5(002):P.127-130.
- [12] 保华. Wolf 运动功能评价脑卒中手功能障碍康复的价值分析. 医药前沿, 11(5):2.

- [13] 孙伊婷, 周莉, 张喆,等. 基于智能运动反馈测评系统评价中医综合康复方案治疗中风后肩手综合征 54 例. 环球中医药, 14(5):5.
- [14] 于岱峰, 张建平, 管文强,等. 人体背力、握力肌肉力量数据分析系统的设计与实现. 体育科学, 2006(9).
- [15] 何铭锋, 董葱, 黄日媚,等. 手指拔伸扳法对脑卒中后早期手功能障碍的康复效果. 神经损伤与功能重建 2020 年 15 卷 10 期, 607-609 页, ISTIC, 2020.
- [16] 吴耘、赵珂、程圣楠. 音乐疗法联合运动疗法对脑卒中后疲劳患者康复依从性, 生活质量的影响. 哈尔滨医药, 2020, v.40;No.194(04):71-72.
- [17] 沈津竹, 赵晓露, 张帆,等. 柔性康复手套设计与工效性评价. 纺织学报, 41(9):9.
- [18] Schneider S, SchNle P W , E Altenmüller, et al. Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. Journal of Neurology, 2007, 254(10):1339-1346.
- [19] Tong Y, Forreider B, Sun X, et al. Music-supported therapy (MST) in improving post-stroke patients' upper-limb motor function: a randomised controlled pilot study. Neurological Research, 2015, 37(5):434-440.
- [20] 王极盛, and 幸代高. "针刺对两点辨别觉的作用." 心理学报 12.004(1980):74-80.
- [21] 袁剑, 赵延欣. "上肢力量训练对脑卒中患者上肢及手指功能恢复和卒中后抑郁的影响." 中国临床医学 025.002(2018):262-265.
- [22] Woodward, K. L., R. K. Dan, and G. K. Oliff . "A tactile stimulation device for measuring two-point and gap discrimination thresholds in humans." Behavior Research Methods Instruments & Computers 22.5(1990):440-442.

[23] Deveciolu, S. . "Role of Mechanoreceptive Afferents in Two-Point Discrimination: A Simulation Based Modeling Study." EBBT 2018 2018.

[24] Shimokata, H., and F. Kuzuya. "Two-point discrimination test of the skin as an index of sensory aging. " Gerontology 41.5(1995):267-272.

2021 S.-T. Yau High School Science Award

8. 附录

8.1. 实验证明

卒中病人二点辨别觉评估装置测试证明

上海外国语大学附属外国语学校蒲新格同学参与研制的一种卒中病人二点辨别觉评估装置在静安区中心医院康复医学科进行样机易用可用性临床测试。

测试时间：2020 年 9 月-至今。

测试志愿病例数量：计划 10 例，目前已入组 2 例，正在测试过程中。

通过比较用专用拨盘测试卒中患者所得到的两点辨别觉结果，和用中风病人两点辨别觉评估仪测试所得结果，两者具有高度相似性，证明了中风病人两点辨别觉评估仪测试数据基本准确，对医生临床诊断具有参考性，并且实际操作简单、省时，可以进行智慧化数据管理，避免了医生繁琐的手动拨盘测试与数据统计，在今后的手功能康复定量评估中可以提供有力的帮助。希望后续测试更多的卒中患者病例，进一步完善，形成对临床有较大的支撑作用的两点辨别觉评估装置。

上海市静安区中心医院康复医学科

2020 年 11 月 03 日

8.2. 课题研究规划

时间	进度	成果
2020 年 7 月	二点辨别觉评估调研及社会调查	医院走访及调查结果
2020 年 8 月	辨别觉机构的课题研究现状	研究现状资料
2020 年 9 月	二点辨别觉机构机械结构设计	三维模型的建立
2020 年 10 月	装置电子模块的调查和方案确定	控制系统和模块的确定
2020 年 11-12 月	二点辨别觉机构的元件采购、组装 及整体调试	二点辨别觉机构的整体
2021 年 1 月	阅读文献，学习控制算法原理	相关算法的了解
2021 年 2-3 月	选定 2-3 种控制算法，使用病人测 量数据测试收敛效率	软件编程的实现
2021 年 4 月	装置的数据存储与智能分析功能	数据存储功能的实现
2021 年 5 月	肌力监测手套的设计和压力模块的 选型	肌力监测手套的整体
2021 年 6 月	实际组装肌力监测手套，并进行程 序编写	肌力监测手套的软件实 现，数据收集功能
2021 年 7 月	系统的组装，整体调试	整体的功能测试
2021 年 8 月	康复评价相关文献调研，康复评价 体系的设计	康复评价表格
2021 年 9-10 月	实验部分的方案讨论和实施，到医 院进行不少于 5 名病人的测试	实验内容和数据记录
2021 年 11-12 月	论文初稿撰写及优化	论文终稿

8.3. 相关代码

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
int numdata, val;
```

```
boolean started = false;
```

```
int analogpin = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
    val = analogRead(analogpin);
```

```
    Serial.println(val);
```

```
    delay(100);
```

```
}
```

```
int fail = 8;
```

```
int success = 9;
```

```
int confirm = 5;
```

```
int dir = 7; //控制方向 0 右 1 左
```

```
int pus = 6; //电机驱动脉冲 500 模式
```

```
int mark = 0;
```

```
float record = 0;
```

```
void leftmove_10(void);
```

```

void leftmove_5(void);

void rightmove_5(void);

void leftmove_25(void);

void rightmove_25(void);

void rightmove_10(void);

void HMI_val();

void send();

unsigned char hexdata[3] = {0xff, 0xff, 0xff};

```

```

void setup()
{
    pinMode(fail, INPUT);
    pinMode(success, INPUT);
    pinMode(confirm, INPUT);
    pinMode(pus, OUTPUT); //脉冲信号
    pinMode(dir, OUTPUT); //方向信号
    Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
    if ((mark == 0) && (digitalRead(success) == LOW)) //20-->10 左边
    {
        delay(100);

        if (digitalRead(success) == HIGH)

```

```

{
    leftmove_10();

    mark = 1;

    record = 10;

    HMI_txt("t3", "10");

    Serial.println("结果是 10");

}

}

if ((mark == 1) && (digitalRead(success) == LOW)) //10-->5
{
    delay(100);

    if ((digitalRead(success) == HIGH))
    {
        leftmove_5();

        mark = 2;

        record = 5;

        HMI_txt("t3", "5");

        Serial.println("结果是 5mm");

    }

}

if ((mark == 2) && (digitalRead(fail) == LOW)) //5-->7.5
{

```



```

delay(100);

if ((digitalRead(fail) == HIGH))
{
    rightmove_25();

    record = 7.5;

    HMI_txt("t3", "7.5");

    Serial.println("结果是 7.5mm");

}

}

if ((mark == 1) && (digitalRead(fail) == LOW)) //10-->15
{
    delay(100);

    if ((digitalRead(fail) == HIGH))
    {
        rightmove_5();

        mark = 3;

        record = 15;

        HMI_txt("t3", "15");

        Serial.println("结果是 15mm");

    }

}

if ((mark == 3) && (digitalRead(success) == LOW)) //1.5-->1.25

```

```

{
    delay(100);

    if ((digitalRead(success) == HIGH))
    {
        leftmove_25();

        mark = 4;

        record = 12.5;

        HMI_txt("t3", "12.5");

        Serial.println("结果是 12mm");

    }
}

if ((mark == 3) && (digitalRead(fail) == LOW))    //1.5-->1.75
{
    delay(100);

    if ((digitalRead(fail) == HIGH))
    {
        rightmove_25();

        mark = 5;

        record = 17.5;

        HMI_txt("t3", "17.5");

        Serial.println("结果是 17.5mm");

    }
}
}

```

```
if (Serial.available() > 0)
{
    float reset = Serial.read();
    if (reset == 20)
    {
        rightmove_10();
        rightmove_10();
    }
    if (reset == 10)
    {
        rightmove_10();
    }
    if (reset == 5)
    {
        rightmove_5();
    }
    if (reset == 7.5)
    {
        rightmove_5();
        rightmove_25();
    }
    if (reset == 15)
    {
```

```

        rightmove_10();

        rightmove_5();
    }

    if (reset == 12.5)
    {
        rightmove_10();

        rightmove_25();
    }

    if (reset == 17.5)
    {
        rightmove_10();

        rightmove_5();

        rightmove_25();
    }
}

void leftmove_10() {
    digitalWrite(dir, HIGH);
    tone(pus, 1600, 500);
    // Serial.println("左移 1");
}

void leftmove_5() {
    digitalWrite(dir, HIGH); //high 为左移
    tone(pus, 1600, 500);    //左移一半
}

```

```

    // Serial.println("左移 0.5");
}

void rightmove_5() {
    digitalWrite(dir, LOW);
    tone(pus, 1600, 500);
    // Serial.println("右移 0.5");
}

void rightmove_25() {
    digitalWrite(dir, LOW);
    tone(pus, 1600, 500);
    // Serial.println("右移 0.25");
}

void rightmove_10() {
    digitalWrite(dir, LOW);
    tone(pus, 1600, 500);
    // Serial.println("右移 1");
}

void leftmove_25() {
    digitalWrite(dir, HIGH);
    tone(pus, 1600, 500);
    // Serial.println("左移 0.25");
}

void send()

```

```

{
    for (int i = 1; i <= 3; i++)
    {
        //    Serial.write(0xff);

        Serial.write(0xff);
    }
}

void HMI_val(String part, int val)
{
    Serial.print(part + ".val=" + val);

    unsigned char hexdata[3] = {0xff, 0xff, 0xff};

    Serial.write(hexdata, 3);

    //  send();
}

void HMI_txt(String part, String txt)
{
    Serial.print(part + ".txt=\""");

    Serial.print(txt);

    Serial.print("\"");

    unsigned char hexdata[3] = {0xff, 0xff, 0xff};

    Serial.write(hexdata, 3);

    //  send();
}

```