

## 机器人辅助心电信号监测及康复训练系统<sup>①</sup>

卢振利<sup>②</sup>\* \*\* 朱健美\* 单长考\*\* 刘燕\*\* 赵宇\*\*\*

Pencić Marko\*\*\*\* Cavić Maja\*\*\*\* Ilieva Roumiana\*\*\*\*\* Memik Marjan\*\*\*\*\*

(\* 盐城工学院机械工程学院 盐城 224051)

(\*\* 常熟理工学院电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(\*\*\* 常熟理工学院商学院 常熟 215500)

(\*\*\*\* 诺维萨德大学技术科学学院 诺维萨德 21000, 塞尔维亚)

(\*\*\*\*\* 索菲亚工业大学管理学院 索菲亚 1000, 保加利亚)

(\*\*\*\*\* 马里博尔大学电气工程和计算机科学学院 马里博尔 46 2000, 斯洛文尼亚)

**摘要** 在心电信号的基础上设计心脏康复训练系统,本文总结了机器人辅助心脏康复研究国内外现状,从心电监测、机器人辅助康复系统设计上进行阐述。在心电监测装置上实现上下位机通信,在机器人辅助系统设计中,通过使用 Visual Studio、Coppeliassim 及 Kinect 设备三者进行通信,控制仿真机器人完成康复动作并严格识别、判定患者康复动作合格程度,以此来帮助心脏病患者进行康复动作训练。

**关键词** 心电监测; 人机交互; 心脏康复

随着社会的不断发展,居民不健康生活方式的问题日益突显,其中心血管疾病的发病率和死亡率上升<sup>[1]</sup>,尤其是急性心肌梗死,成为威胁我国城乡居民安全的首要疾病之一。急性心肌梗死对患者身体和心理造成长期影响,使其在相当长的时间内难以恢复到生病前的生活状态,患者出院后的整体生活质量堪忧。因此,对急性心肌梗死患者进行早期心脏康复训练显得尤为重要。

在心脏康复治疗中,康复动作的标准判定通常由康复师决定,然而,目前缺乏严格的动作判定标准。为了使康复动作更加标准,更好地对急性心肌梗死早期患者进行心脏康复,缓解临床医师及康复师的负担,保障患者对自身治疗的有效性,引入机器人辅助技术判定动作标准成为一种创新的解决方案。

机器人辅助技术不仅能减轻康复师的负担,还能促进智能康复训练系统的研发。本文首先对患者

进行心脏监测,以评估其心脏健康状况。接着,建立机器人辅助设备与 Kinect 设备的通信,实现机器人辅助患者康复系统,从而帮助患者进行心脏康复。这一综合的医疗方案旨在提高康复效果,为患者提供更全面的康复支持。

### 1 心脏康复国内外研究现状

#### 1.1 心脏康复国外研究现状

现代心脏康复研究始于 20 世纪 30 年代,诞生于西方国家。2013 年, Anton 等人<sup>[2]</sup>提出了基于 Windows 的 Kinect 远程康复系统 KiReS,如图 1 所示。通过 Kinect 设备进行动作识别和用户反馈,用户根据 3D 化身展示出来的动作进行练习,并且可以得到实时反馈。物理康复师可以监控和管理康复过程,提高康复效果和用户体验。与其他方法相比, KiReS 适用于多种物理治疗,可加载针对不同身体

① 中塞第 5 届科技例会交流项目(国科外 2021-4-19)。

② 男,1974 年生,博士,副教授,硕士生导师;研究方向:机器人智能控制;联系人,E-mail: zhenlilu@cslg.edu.cn。

(收稿日期:2023-08-30)

状况的锻炼,由理疗师自行添加。该系统强调科学评估,结合自动与用户评估,独具特色。

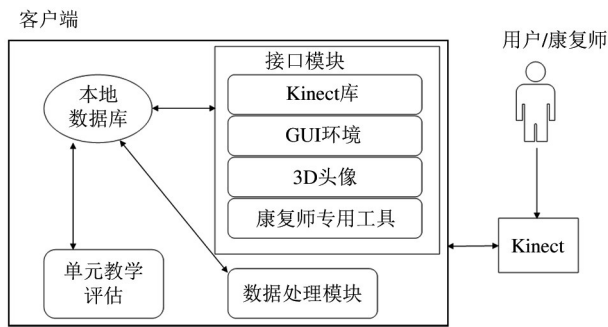


图1 Kinect 远程康复系统

2017 年, Lee 等人<sup>[3]</sup>研发了一种用于心脏康复运动的专用可穿戴传感器(dedicated cardiac rehabilitation wearable sensor, DCRW),如图 2 所示。系统根据患者的心率推荐运动强度。在测量心率的过程中使用多通道光传感器结合奇异值分解(singular value decomposition, SVD)去噪。运动后,使用蓝牙通信将数据传输到智能手机程序中,并将患者测量的数据值保存下来。该系统根据患者自身情况确定运动强度,设备去噪的方式可以提高心率测量的准确性、鲁棒性,但其在运动过程中缺少了实时反馈。

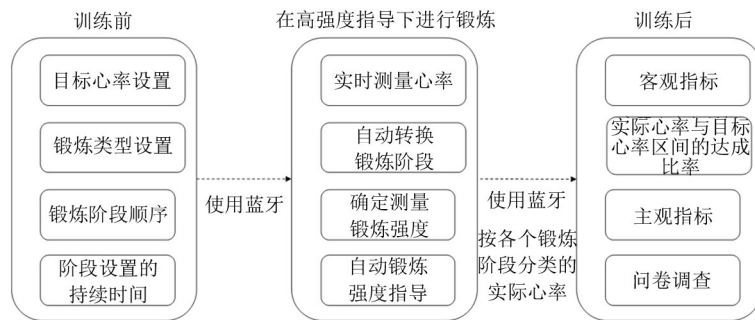


图2 心脏康复训练系统使用 DCRW 与智能手机应用程序

2020 年, Ogbuabor 等人<sup>[4]</sup>提出了一种情境感知心脏康复监测系统,如图 3 所示。系统将 Holter 监测器的心电信号和 Android 智能手机的活动数据储存在数据库中,并从数据中提取相关信息输入机器

学习算法。康复师根据分析数据向患者提供康复建议。该研究考虑了患者活动时间、智能手机的活动数据和时间等关键因素,以打造高效的心脏康复监测系统。

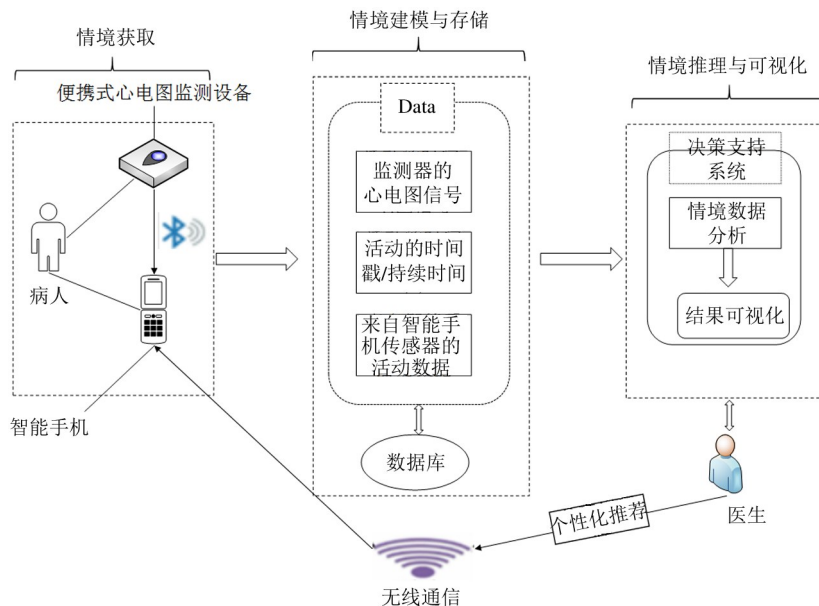


图3 情境感知心脏康复监测系统

2023年,Shaji 等人<sup>[5]</sup>提出基于患者端医疗互联网远程心脏康复框架,实现端到端的远程心脏康复系统,如图4所示。该系统由患者端医疗互联网设备和复杂数学模型以及用于捕捉数据的应用程序组

成,将捕捉到的数据呈现给康复师的 web 服务端。手机应用可以提取心电信号的特征,医生通过手机程序远程接收患者数据,并给予反馈。

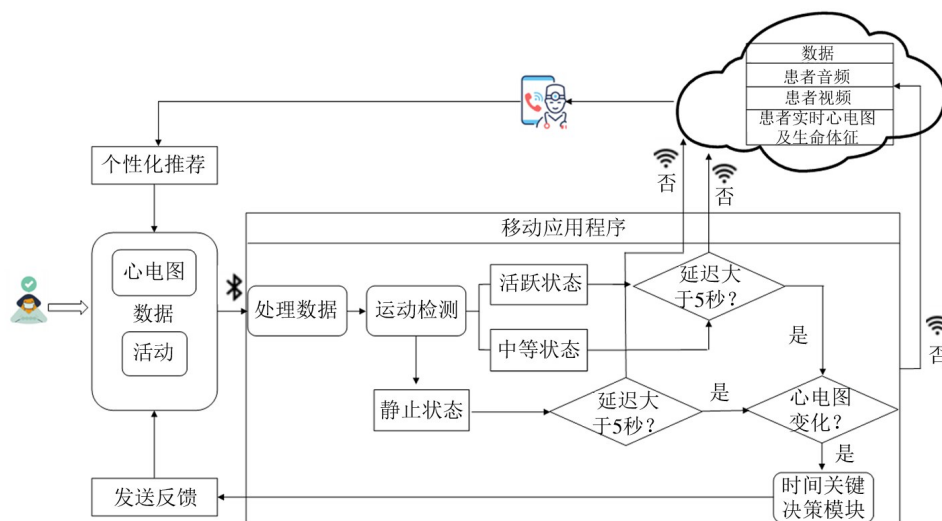


图4 远程心脏系统流程图

### 1.2 心脏康复国内研究现状

我国的心脏康复研究起步于20世纪80年代,曲镭等人是第一批心脏康复训练设备研发的开拓者,但心脏康复项目几乎没有延续下来。在新一轮的卫生改革中,我国心脏康复项目迎来了新的机遇<sup>[6]</sup>。2018年,中国康复医学会心血管病学分会发布的一项关于我国心脏康复状况的调查表明,全国范围内仅有13%的医院提供I期心脏康复服务,17%的医院提供II期心脏康复服务,其中8%的医院同时提供I期和II期心脏康复服务<sup>[7]</sup>。因此推动和发展心脏康复训练设备研发十分迫切。

2017年,南京医科大学第一附属医院康复医学中心余滨滨等人<sup>[8]</sup>通过让患者佩戴uCare可穿戴设备,监测患者体位和心电情况,并将设备测得的数据远程传输至康复中心,康复师可以掌握患者状态、监督康复训练,并调整方案。该动态心电记录仪可根据患者自身情况设定目标心率,并通过语音提示患者调整运动强度,更加有效地帮助患者进行心脏康复。

2017年,王昭昭等人<sup>[9]</sup>提出了将运动手环监测与微信教育相结合在急性心肌梗死患者康复运动中的应用。患者佩戴小米手环,手环可以监测患者的

运动心率、运动步数及运动时间,康复师通过收集存储在APP云端的数据给患者制定合适的康复计划。该设计打破了以往心肌梗死患者出院后康复运动的限制,通过运动手环可以改善患者康复运动的依从性。



图5 uCare RG10 动态心电记录仪

2020年,陈金阳<sup>[10]</sup>提出了基于情绪识别的智能康复训练系统,以游戏设计为基础针对脑卒中患者进行虚拟康复训练实验。系统利用Unity3D技术创建虚拟康复训练场景,记录正常人和患者在实验中的生理信号以及表现数据,并对被试者进行问卷调查,收集相关数据。该设计按照患者的意愿来设定康复任务的难度,保证患者在康复训练时的主动

性。该系统将情绪感知与机器人技术相结合运用到康复领域,具有重要的研究价值。

## 2 心电监测国内外研究现状

### 2.1 心电监测国外研究现状

2005 年,Paradiso 等人<sup>[11]</sup>完成了 WEALTHY (wearable health care system)项目,主要是为老年人、慢性病人提供健康监护系统。用户通过穿戴智能衣实现心电、心肌、呼吸、体温等生理参数监测且通过信号关联可实现报警功能。智能衣具备取代传统服装的潜力,并能提供出色的穿着舒适感。其创新方法在于利用标准纺织工业流程来集成传感元件,如图 6 所示。

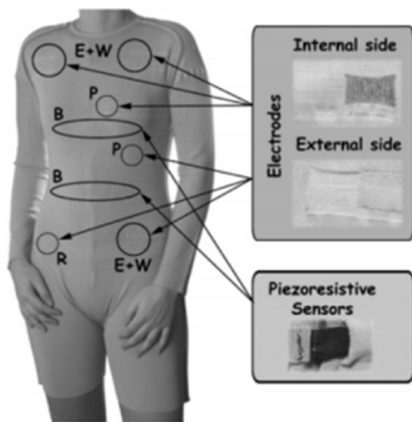


图 6 WEALTHY 样机模型

2005 年,VivoMetrics 公司发明了无创、可持续监测并且可移动的生理参数监测系统 LifeShirt<sup>[12]</sup>。该系统可以监测呼吸、心电以及运动参数,并将采集到的数据经过处理后传到电子数据处理中心,并将处理后的结果提交给医生,如图 7 所示。

美国 GARMIN 公司专门设计全球定位系统(global positioning system,GPS)导航设备、智能穿戴设备、运动健康产品<sup>[13]</sup>。其中最具代表性的是智能腕表系列,智能腕表搭载光学心率传感器、GPS 芯片、气压计、陀螺仪等,不仅可以监测佩戴者的心率,还可以监测佩戴者位置、海拔及运动姿势等数据,其高端智能手表可实现健康监测、运动追踪以及心率监测等。

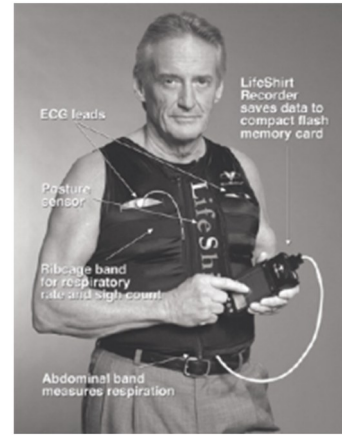


图 7 Lifeshirt 穿戴图

苹果公司引入了全新的智能穿戴设备 Apple Watch,Apple Watch 系列智能手表集成了光学心率传感器等组件,其智能操作系统允许用户安装应用程序并可以直接使用,用户可以随时查看健康数据。与 GARMIN 公司不同,苹果的 Apple Watch 更侧重于智能性和用户体验。

### 2.2 心电监测国内研究现状

2019 年,高鹏彪<sup>[14]</sup>开发了一套便捷穿戴、易操作的健康监测系统。该设备能够随时监测人体的血压、心率、体温、体脂率等生物信息状态。该系统在手机端通过蓝牙模块与监测设备无线通信,通过互联网技术实现患者和医生的实时交互。该设备的独特腕象信息监测技术用于评估人体脉象的特征,包括浮沉和力度,对 3D 脉象和中医自动诊脉具备重要的理论研究和实际应用潜力。

2019 年,曹欣雨<sup>[15]</sup>通过 LabVIEW 设计了自我健康监护软件系统,可以测量配戴者的心电、血糖、血压、脉搏及血压等数据,通过多分辨率小波变换去噪实现心电的 R 波定位,并可以诊断 RR 间期的心率过快或过缓的问题。但其缺少对日常数据的分析,不利于用户及早采取措施进行预防。

2019 年,杨雯<sup>[16]</sup>设计了一款在复杂环境下基于人脸视频的非接触式心率测量系统,设计了基于卷积神经网络(convolutional neural network,CNN)的心率信息特征提取器,提高了复杂环境下心率提取的准确性。但其不能实时测量心率,而且在多人进行心率检测时其复杂度会上升。

2021 年,徐英杰<sup>[17]</sup>使用多种传感器通过无线

通信方式实现数据采集与传输,并使用深度神经网络智能分析采集的数据,监测用户的健康状况并记录健康状况变动。该硬件设备体积小、集成化高,其深度学习的神经网络结构可以进一步优化。

2022年,陈龙保<sup>[18]</sup>提出了基于自适应变分模态分解重构和结构稀疏表示重构的心率监测算法,通过重构的心率信号进行功率谱密度分析来计算心率,具有更高的鲁棒性且操作简便。但所测的生理参数比较单一,而且实际应用中的设备硬件配置低而不能很好地面对复杂环境。

2022年,Chen等人<sup>[19]</sup>开发了毫米波雷达系统进行非接触式心电监护系统,通过利用心脏机械活动和心脏电活动的关系,实现非接触式心电监测;并通过设计一系列的信号处理算法提取4D心脏运动信号来全面描述心脏机械活动。该非接触式心电图的测量精度高,但是会受到雷达设备分辨率的限制,因此扩大系统的抗干扰能力,对提高系统的鲁棒性和精度非常重要。

2023年,李光发等人<sup>[20]</sup>设计了一款基于安卓移动端设备的心率检测应用,系统根据光电容积法的原理从人体皮肤的图像数据中提取心率信息;其采用欧拉视频放大算法实现非接触式心率检测,并在界面显示心率值。通过与真实心率相比其误差较小,且准确率和稳定性高。但其缺少远程医疗和危险预警等功能。

此外,机器人辅助心电监测及康复领域是一个新颖的方向,不仅可以智能监测人体的健康状态,还可以使用机器人辅助对人体进行心脏康复。

### 3 心电监测系统设计

#### 3.1 通信系统设计

以51单片机为控制器,与Python进行通信,使用CH340串口进行数据传输开发了心电监测系统。Python的灵活性和高开发效率,使得与单片机通信更加方便和高效。并且通过Python搭建智能监测人体健康状态的系统,可以实时显示被测者的体温值和心率值。本系统有体温、心率、血压、血氧检测功能,可以根据使用者的选择,跳转到不同的测量界

面。如图8所示。

图9是选择体温和心率时测量的数据,此数据可实时显示体温和心率值,并通过Keil设置正常的阈值,一旦测量值超过正常值范围,系统就会报警提示测量者注意自己的身体健康状态。

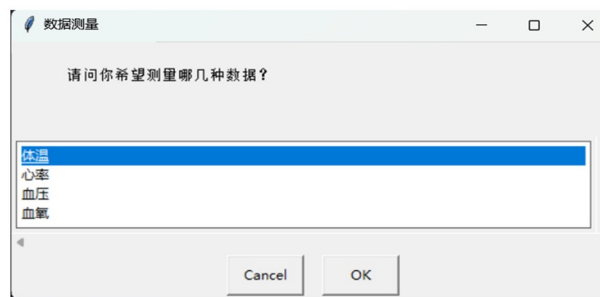


图8 测量类型选择界面



图9 实时数据显示界面

#### 3.2 测量数据传输

心率是指心脏每分钟跳动的次数,反映了心脏完成搏动需要的时间。脉搏信号是一种体表可触及的动脉搏动信号,它源自心脏有规律的收缩和舒张过程<sup>[21]</sup>。从理论角度来看,脉搏和心率是相互关联的。利用光电容积脉搏波描记法(photo plethysmograph, PPG)技术对人体皮肤进行心率监测实际上是通过监测皮肤上的脉搏变化,进而获取心率数据的一种方法<sup>[20]</sup>。

心电监测是检测心脏是否健康的一个重要标准,心律失常、中风和冠心病(coronary heart disease, CAD)等疾患都可以通过实时监测患者的生物信号来管理<sup>[22]</sup>。本设计通过51单片机监测人体心率和体温,并且通过CH340串口连接在电脑上,通过上位机实时显示监测的生理参数,超出正常阈值单片机会报警,如图10所示。

静止状态下成年人正常心率值设定的范围为

60 ~ 100 次/min, 体温正常范围为 36 ~ 37 ℃。当测量值不在正常范围内, 指示灯会亮, 蜂鸣器发出声音。系统如图 11 所示。

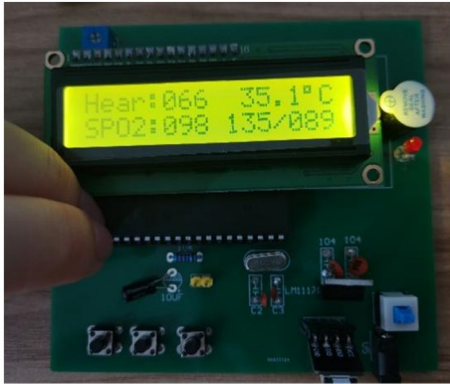


图 10 心率监测

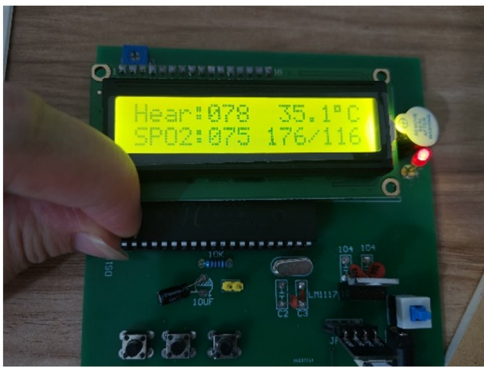


图 11 心率报警系统

## 4 机器人辅助心脏康复训练系统

### 4.1 系统组成

系统由 Kinect v2 设备与 PC 机联合构成(图 12)。因为 Kinect v2 的骨骼追踪原理是基于红外线深度

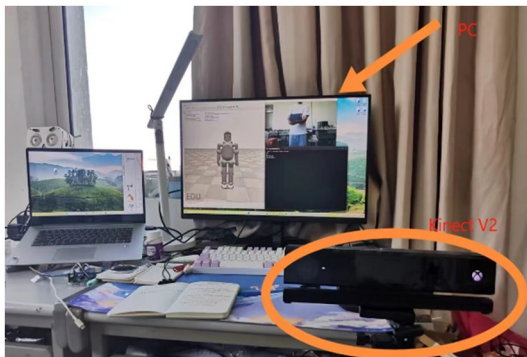


图 12 硬件结构组成

传感器和红绿灯(red green blue, RGB)摄像头的联合作用。深度传感器发射红外线, 测量物体与传感器的距离。RGB 摄像头捕捉人体图像, 并将其传输到计算机。计算机结合这 2 个数据源, 利用算法来识别人体的关键关节, 从而实现骨骼追踪。

### 4.2 软件系统

软件系统建立在配置了 OpenCV3.4.13 的 Visual Studio2017 和 CoppeliaSim 上, 通过 C++ 编程语言对 CoppeliaSim 上的仿真机器人进行远程控制, 实现对 CoppeliaSim 上仿真机器人和 Kinect 联合仿真, 来实现骨骼追踪和动作识别。

## 5 动作评定设计

有氧运动和抗阻运动已成为当前心脏康复运动的主要形式, 而柔韧训练通常作为康复过程的有益补充, 通过静态或动态的拉伸来增加身体的柔韧性。根据心脏康复的治疗阶段, 该研究动作设计主要适用于 III 期(稳定期)病患: 患者可以在家或者社区进行自我康复<sup>[23]</sup>。其中抗阻运动中比较有代表性的是扩胸运动, 对于冠心病康复患者, 在康复期间, 适度的扩胸运动可以帮助心肌梗死患者增强心脏功能和肌肉力量; 协调性训练可以在心脏康复过程中发挥积极作用, 尤其是在提高整体身体健康和心血管康复方面。

### 5.1 动作识别原理分析

#### 5.1.1 角度识别法

当人体运动时, Kinect 可以根据骨骼坐标点、两骨骼之间夹角以及骨骼点之间的相对位置差来识别不同的动作, 对于角度而言, 可以使用夹角公式来表示。

$$\theta = \frac{\arccos(a^2 + b^2 - c^2)}{2ab} \quad (1)$$

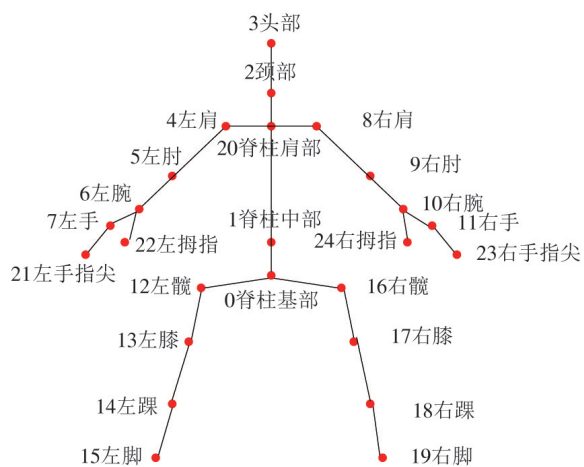
其中  $a$ 、 $b$  分别代表两相邻骨骼长度,  $c$  代表两骨骼的对边长度,  $\theta$  表示  $a$ 、 $b$  间的夹角。不同动作就会产生不同的夹角, 因此可以通过角度识别法, 来判定不同的动作。

#### 5.1.2 三维距离识别法

根据骨骼点坐标、骨骼点相对位置差来识别不同的动作(图 13), 由欧几里得三维测距法, 可以测

得 2 个骨骼点之间的三维距离,根据不同的动作设定不同的距离。其公式为

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (2)$$



注意: Kinect中的关节的识别方式与照镜子的方式相同,图像的左侧是身体的左侧,图像的右侧是身体的右侧。

图 13 Kinect 识别的人体骨骼图

## 5.2 动作设计

### 5.2.1 扩胸运动

扩胸运动设计如下图 14 所示。

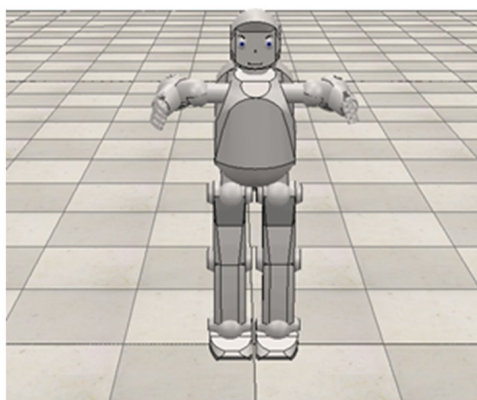


图 14 扩胸运动设计

通过 Kinect 设备与 CoppeliaSim 和 Vs Studio 三者进行通信,通过对扩胸运动的研究,右上臂与右下臂之间的夹角是一个比较独特且固定的角度,将其设定为  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。右手腕高于右腿部最高点沿  $y$  轴方向的坐标差为  $0.20\text{ m}$ 。同理,左臂也进行同样的设定。通过命令框打印动作的完成情况,图 15 所示是扩胸运动的训练情况。

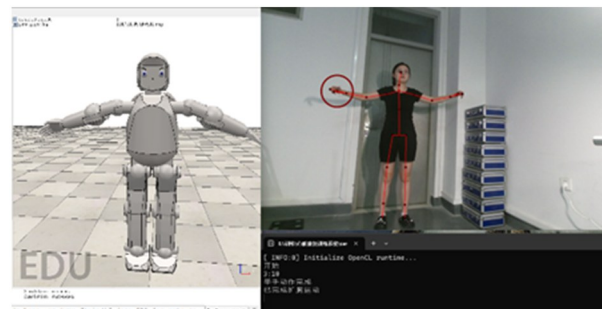


图 15 机器人辅助扩胸运动训练设计

### 5.2.2 协调性训练

协调性训练设计如图 16 所示。

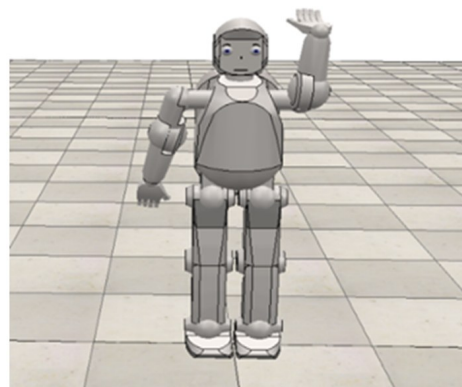


图 16 协调性训练设计

协调性训练设定左手腕在沿  $y$  轴上高于左肩  $0.40\text{ m}$ ,右手腕与右手肘沿  $z$  轴上差  $0.15\text{ m}$ ,同理,通过 Vs Studio 设定人体不同点的角度值和高度差来识别动作是否合格,并且用语音方式给予患者反馈。图 17 所示是协调性训练设计的训练情况。

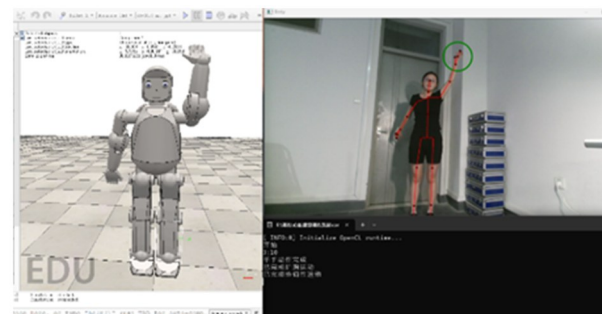


图 17 机器人辅助协调性训练设计

### 5.2.3 适用人群

急性心肌梗死通常在中老年人群中更为常见,但不仅限于特定的年龄群体,本设计可以适用于不

同年龄段急性心肌梗死患者的康复训练。对于轻度或稳定的冠心病患者,扩胸运动和协调性伸展可以作为一种有益的低强度锻炼方式。患者在进行任何新的体育活动或锻炼计划之前,应咨询医生或心脏专家,以确保他们的心脏不过度负担。如果有任何不适或症状加重,应立即停止锻炼并咨询医生。

## 6 心脏康复训练数据

对于急性心肌梗死患者在心脏康复Ⅲ期,运动康复方案推荐为:总共进行 36 次或更多的运动康复,每 7 d 进行 3 次,每次运动时间不少于 30 min<sup>[24]</sup>,持续 84 d。选取 3 名冠心病患者按照推荐的运动方案进行康复,而要求被测者在测试期间保持合理作息,健康的生活方式对心血管疾病具有积极的作用。

为了更加直观地显示心率值,通过 Python 实现对串口的实时监测以及将监测到的心率值自动实时保存,并且将保存的文本数据绘制出心率图像。如图 18 所示。

```

b' Heartrate:069,Temp:28.1C\r\n'
Mon Sep 4 10:56:17 2023 :
b' Heartrate:072,Temp:28.1C\r\n'
Mon Sep 4 10:56:18 2023 :
b' Heartrate:072,Temp:28.1C\r\n'
Mon Sep 4 10:56:19 2023 :
b' Heartrate:072,Temp:28.1C\r\n'

Heartrate:079,Temp:27.1C
Heartrate:079,Temp:27.1C
Heartrate:079,Temp:27.0C
Heartrate:084,Temp:27.1C
Heartrate:084,Temp:27.1C
Heartrate:084,Temp:27.1C
Heartrate:084,Temp:27.1C
Heartrate:084,Temp:27.1C
Heartrate:084,Temp:27.1C
    
```

图 18 保存数据及实时监测

因心率值在心脏康复中具有代表性,所以将测试样本心率结果的对比图单独列出,如图 19 ~ 21 所示。

通过对比训练前后的心率值图片,可以看出 3 个样本的心率最高值都有所降低,并且心率变化的范围相对之前都有所减小。

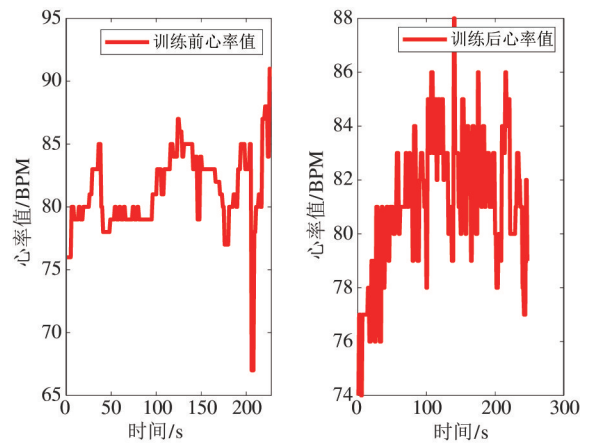


图 19 样本 1 心率值对比

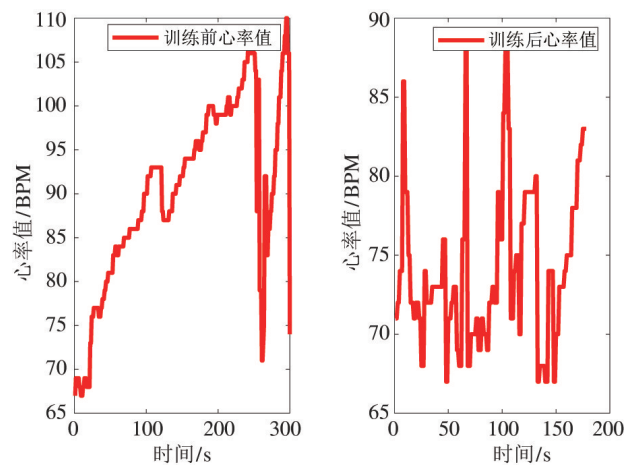


图 20 样本 2 心率值对比

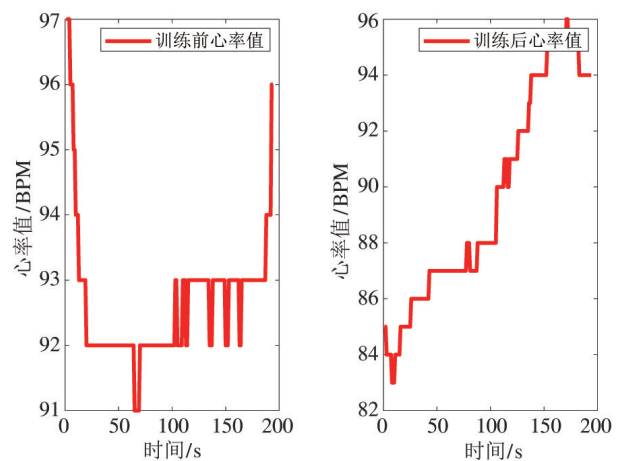


图 21 样本 3 心率值对比

## 7 结论

对国内外针对心脏康复训练系统、机器人辅助



康复系统的研究进行了综述,并以 51 单片机为控制器,设计实时监测患者的心率等信号的信号采集系统,结合生成的心率等数据,判定患者的健康状况。通过机器人辅助技术进行康复动作的严格判定、实时记录患者数据并评价训练效果。相关应用极大缓解了康复师的压力,提升了康复训练项目的交互性和康复训练结果的科学性。

#### 参考文献

- [ 1 ] 中心血管杂志.《中国心血管健康与疾病报告 2020》要点解读[J]. 中心血管杂志, 2021,26(3):209-218.
- [ 2 ] ANTÓN D, GOÑI A, ILLARRAMENDI A, et al. KiReS: a kinect-based telerehabilitation system[C]//2013 IEEE 15th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services. Lisbon, Portugal: IEEE, 2013: 444-448.
- [ 3 ] LEE H, CHUNG H, KO H, et al. Dedicated cardiac rehabilitation wearable sensor and its clinical potential[J]. PLoS One, 2017,12(10):e0187108.
- [ 4 ] OGBUABOR G O, AUGUSTO J C, MOSELEY R. Context-aware approach for cardiac rehabilitation monitoring [C]//Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent Environment. Online: IOS Press, 2020: 167-176.
- [ 5 ] SHAJI S, SANKARAN R, GUNTHA R, et al. A realtime IoMT enabled remote cardiac rehabilitation framework[C]//The 15th International Conference on Communication Systems & Networks. Bangalore, India: IEEE, 2023: 153-158.
- [ 6 ] 胡大一. 心脏康复: 它山之石,可以攻玉[J]. 中华高血压杂志, 2015,23(3):201-202.
- [ 7 ] 丁荣晶, 胡大一. 中国心脏康复服务发展不均衡, 未来心脏康复发展潜力巨大[EB/OL]. (2018-03-13) [2022-12-10]. <https://acc2018.Icirculation.com/newsview-32349-310-0.html>.
- [ 8 ] 余滨滨, 郑瑜, 温华聪, 等. 可穿戴式设备 uCare 与动态心电图检测的临床对比研究[J]. 中国康复医学杂志, 2017,32(1):39-43.
- [ 9 ] 王昭昭, 沈小清, 何细飞, 等. 微信教育结合运动手环监测在心肌梗死患者康复运动的应用[J]. 护理学杂志, 2017,32(15):8-10.
- [ 10 ] 陈金阳. 基于情绪识别的机器人辅助康复人机交互控制方法研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2020.
- [ 11 ] PARADISO R, LORIGA G, TACCINI N. A wearable health care system based on knitted integrated sensors [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2005,9(3):337-344.
- [ 12 ] AXISA F, SCHMITT P M, GEHIN C, et al. Flexible technologies and smart clothing for citizen medicine, home healthcare, and disease prevention [J]. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2005,9(3):325-336.
- [ 13 ] 孙涛. 人体健康数据实时监测系统的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2021.
- [ 14 ] 高鹏彪. 人体生物信息的检测与健康监测系统的应用[D]. 长春:吉林大学, 2019.
- [ 15 ] 曹欣雨. 自我健康监护仪软件系统设计及实现[D]. 长春:长春理工大学, 2019.
- [ 16 ] 杨雯. 基于人脸视频的非接触式心测量算法的研究与实现[D]. 北京邮电大学, 2019.
- [ 17 ] 徐英杰. 深度学习在基于体表温度的人体健康监测系统的应用[D]. 鞍山:辽宁科技大学, 2021.
- [ 18 ] 陈龙保. 信号重构视角下的人脸视频心率检测算法研究[D]. 贵阳:贵州师范大学, 2022.
- [ 19 ] CHEN J, ZHANG D, WU Z, et al. Contactless electrocardiogram monitoring with millimeter wave radar [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2024,23(1): 270-285.
- [ 20 ] 李光发, 胡国清, 陈佳, 等. 基于移动端的非接触心率检测系统研究与设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(7):35-41.
- [ 21 ] 杨洒. 脉象信号特征提取与脉图聚类方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018.
- [ 22 ] WHO. Cardiovascular diseases[EB/OL]. (2020-03-03) [2023-03-23]. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)).
- [ 23 ] 李亚梦, 吕韶钧, 崔美泽, 等. 冠心病运动康复研究进展[J]. 中国体育科技, 2023,59(1):72-80.
- [ 24 ] PRICE K J, GORDON B A, BIRD S R, et al. A review of guidelines for cardiac rehabilitation exercise programs: is there an international consensus? [J]. European Journal of Preventive Cardiology, 2016,23(16):1715-1733.
- [ 25 ] 卢振利, 王红, 沈玄霖, 等. 基于脑机接口的机器人辅助脑瘫康复表情训练系统设计[J]. 高技术通讯, 2021,31(2):207-213.

## Robot-assisted ECG signal detection and rehabilitation system

LU Zhenli<sup>\*\*\*</sup>, ZHU Jianmei<sup>\*</sup>, SHAN Changkao<sup>\*\*</sup>, LIU Yan<sup>\*\*</sup>, ZHAO Yu<sup>\*\*\*</sup>,  
Pencić Marko<sup>\*\*\*\*</sup>, Cavić Maja<sup>\*\*\*\*</sup>, Ilieva Roumiana<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Mernik Marjan<sup>\*\*\*\*\*</sup>

(<sup>\*</sup> School of Mechanical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051)

(<sup>\*\*</sup> School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(<sup>\*\*\*</sup> Business School, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(<sup>\*\*\*\*</sup> Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad 21000, Serbia)

(<sup>\*\*\*\*\*</sup> Faculty of Management, Technical University of Sofia, Sofia 1000, Bulgaria)

(<sup>\*\*\*\*\*</sup> Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, University of Maribor, Maribor 462000, Slovenia)

### Abstract

This study presents a comprehensive overview of the current status of robot-assisted cardiac rehabilitation research both domestically and internationally. The work focuses on the integration of electrocardiogram (ECG) monitoring and the design of a robotic-assisted rehabilitation system. The communication between the upper and lower computer layers is achieved in the ECG monitoring device. In the design of the robot assistance system, Visual Studio, Coppeliassim and Kinect devices are used to communicate, control the simulation robot to complete rehabilitation actions, and strictly identify and judge the qualification of patients' rehabilitation actions.

**Key words:** electrocardiogram (ECG) monitoring, human-computer interaction, cardiac rehabilitation