

题目编号：DG-06

人机相容型踝关节康复机器人构型设计与人机交互研究比赛方案

一、发榜单位

东莞市康复医院

二、题目名称

人机相容型踝关节康复机器人构型设计与人机交互研究

三、题目介绍

随着人口老龄化加剧及心脑血管疾病年轻化趋势，肢体运动障碍患者数量显著攀升，给社会和家庭带来双重压力。踝关节作为下肢承重枢纽，在缓冲压力、步行支撑等方面具有关键作用。脑卒中后常见的足下垂等症状若未获及时治疗，将引发肌肉组织特性改变，导致不可逆损伤。传统人工康复存在训练强度大、效率低、评估主观性强等局限。相较之下，踝关节康复机器人通过标准化定量训练，不仅能有效提升康复效率，还可显著降低治疗师工作强度，展现出重要临床应用价值。

然而，现有踝关节康复机器人存在如下：①虽可实现多自由度运动，但人机结构匹配度不高，其转动中心与踝关节转动中心不重合，易导致二次损伤；②主要采用位姿控制和柔顺控制两大类控制方法，位姿控制主要用于被动康复运动，适用于康复早期阶段；柔顺控制可以实现主动康复运动，但对患者个

体差异的适应性以及人机交互性还有待进一步提高。

鉴于此，为了加快踝关节康复机器人在临床上应用，本课题聚焦与具有人机相容特性的平台式踝关节康复机器人系统研发。一方面，研发新的机械结构，具有结构简单紧凑、人机结构匹配好等优点，能够实现人体踝关节与康复机器人转动的中心的实时重合。另一方面，研究如何提前感知患者的运动意图，使康复机器人能够及时、准确地做出相应的动作响应，提高康复训练的主动性和效果。

综上所述，本课题聚焦脑卒中患者踝关节康复需求，针对传统康复训练效率低、个性化不足等问题，研发具有人机相容特性的平台式踝关节康复机器人系统。需突破多模态人机交互技术、柔性驱动控制技术及生物力学适配算法，实现康复训练过程中机器人与人体运动的动态协调，提升患者康复效果与舒适度。

四、参赛对象

本题目只设学生赛道。

参赛对象为 2025 年 6 月 1 日以前正式注册的全日制非成人教育的各类高等院校在校专科生、本科生、硕士研究生、博士研究生（不含在职研究生），参赛人员年龄在 40 周岁以下，即 1985 年 6 月 1 日（含）以后出生。

同一作品不得同时参加第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛（以下简称第十九届“挑战杯”竞赛）其他赛

道的评比。

参赛对象可以团队或个人形式参赛，每个团队不超过 10 人，每件作品可由不超过 3 名指导教师进行指导。可以跨专业、跨学校、跨单位、跨地域组队，但同一团队所有成员均应符合本赛道相关年龄、身份要求。每件作品只可由 1 所高等院校作为参赛主体提交申报。

五、答题要求

立足科研规律和选题实际，8 月份提交作品为宜。作品要求需要提交康复机器人实物及其技术报告，报告需包括仿真分析等。作品要求包括：

（一）机械结构技术要求

自由度匹配

实现与人体踝关节解剖结构一致的 3 自由度运动（内翻/外翻、背屈/跖屈、内收/外展）。

转动中心误差： $\leq 1.5\text{mm}$ （与人体踝关节瞬时转动中心实时匹配）。

运动范围：背屈/跖屈： $-20^{\circ}\sim+30^{\circ}$ ，内翻/外翻： $-25^{\circ}\sim+15^{\circ}$ ，内收/外展： $\pm 10^{\circ}$ 。

（二）驱动与控制技术要求

1. 驱动系统

输出力矩：峰值扭矩 $\geq 30\text{Nm}$ （跖屈方向）；连续扭矩 $\geq 15\text{Nm}$ ；运动速度： $0\sim 60^{\circ}/\text{s}$ 可调；力控精度： $\pm 0.5\text{N}$ （交互力测量分辨率

$\leq 0.1\text{N}$)。

2. 控制策略

康复轨迹制定：依据患者实时能力精准匹配并优化踝关节康复运动轨迹，逐步拓展功能边界以恢复自然步态。

混合控制模式：被动训练模式：轨迹跟踪误差 $\leq 1^\circ$ ；主动辅助模式：意图识别延迟 $\leq 50\text{ms}$ 。

人机交互柔顺性：阻抗调节范围 $0\text{-}500\text{N/m}$ 。

（三）人机交互技术要求

意图感知系统

多模态传感融合：表面肌电（sEMG）传感器：8 通道，采样率 $\geq 1000\text{Hz}$ ；惯性测量单元（IMU）：9 轴，角度分辨率 $\leq 0.1^\circ$ ；足底压力阵列：16 点分布，灵敏度 $\leq 5\text{g}$ 。

意图识别算法：基于 LSTM 的时序动作预测（准确率 $\geq 95\%$ ）；运动模式分类响应时间 $\leq 80\text{ms}$ 。

（四）安全防护要求

1. 物理安全

过载保护：交互力阈值设定（默认 20N ，可分级调整）。

紧急制动响应时间： $\leq 10\text{ms}$ 。

机械限位：硬限位+软件限位双重保护。

2. 软件安全

实时监控系統：数据更新频率 $\geq 100\text{Hz}$ 。

异常状态检测：自动进入零力模式响应时间 $\leq 30\text{ms}$ 。

六、作品评选标准

1. 技术创新性（30%）：在机构设计、控制算法、交互模式等方面的原创性突破；

2. 临床应用效果（25%）：康复训练效率提升幅度、患者功能恢复数据对比；

3. 人机相容性（20%）：人机交互友好度、患者使用舒适度与适应性；

4. 系统完整性（15%）：机械结构合理性、软件功能完善度、安全防护设计；

5. 应用潜力（10%）：产业化可行性、成本控制方案、市场推广价值。

七、作品提交时间

2025年6月-8月，各高校应组织学生参赛，安排专业人员给予指导，为参赛团队提供支持保障。

2025年8月15日前，各参赛团队通过大赛申报系统提交作品，具体要求详见作品提交方式。

2025年8月底前，由大赛组委会会同发榜单位共同完成初审，确定入围终审擂台赛的晋级作品和团队。

2025年9月，发榜单位安排专门团队提供帮助和指导，各晋级团队完善作品，冲刺攻关参加终审擂台赛，角逐“擂主”。

八、参赛报名及作品提交方式

（一）报名方式

1. 参赛选手登录“挑战杯”官网 2025.tiaozhanbei.net，在“揭榜挂帅”擂台赛报名入口注册账号，登录大赛申报系统在线填写报名信息。报名信息提交后，下载打印系统生成的报名表。

2. 申报人在报名表对应位置加盖所在学校公章。

3. 将盖章版报名表扫描件上传至报名系统，等待系统审核。请参赛选手注意查看审核状态，如审核不通过，需重新提交。

4. 系统开放报名时间为比赛方案发布起至 6 月 30 日，逾期系统将自动关闭报名功能。

（二）作品提交方式

申报作品统一打包压缩提交至大赛申报系统，提交压缩包内容包括：康复机器人整机装配文档（以 STP 格式提交）、力学仿真模拟报告、设计实物动作视频、作品说明与技术报告。压缩包命名方式为：申报人所在单位-申报人姓名-作品名称-联系电话（例如：XX 大学-张 XX-XX 方案-手机号）。

九、赛事保障

为参赛选手更好了解项目需求，选手可联系本题顾问专家刘老师，联系电话：13273531396。

十、设奖情况及奖励措施

1. 设奖情况

设置擂主 1 名，特等奖 5 名，一等奖 5 名，二等奖 8 名，三等奖 10 名。精选命题后，根据实际参赛团队数量进行动态调

整。

2. 奖励措施

擂主奖励奖金 10 万元，擂主将由特等奖获奖团队产生，特等奖奖金 0.4 万元，一等奖奖金 0.3 万元，二等奖奖金 0.2 万元，三等奖奖金 0.1 万元。擂主团队成员优先获得医院康复科实习资格，优秀作品可申请“东莞市大学生创新创业项目”资金支持。提供成果转化对接服务，转化按照相关法律法规要求进行。

3. 奖金发放方式

比赛结束后，单位比赛专班工作人员与获奖团队取得联系，填写奖金申请表，待获奖团队提供银行卡详细信息后 1 个季度内，将奖金一次性发放至获奖团队提供的银行卡中。

十一、比赛专班联系方式

为进一步做好大赛的筹备与组织实施工作，确保赛事高效推进、规范有序，成立赛事工作专班，下设专家指导团队和赛务组织服务组，统筹协调赛事技术支撑与综合保障工作。

1. 专家指导团队

顾问专家：刘老师，联系电话：13273531396

负责比赛期间技术指导保障。

2. 赛事服务团队

联络专员：彭老师，联系电话：13631777633

负责比赛期间组织服务及后期相关赛务协调联络。

3. 联系时间

比赛期间工作日（9:00-17:00）

附：发榜单位简介

东莞市康复医院为直属市残疾人联合会举办的公益事业单位,是东莞市唯一一家市属公立康复专科医院。医院成立于 2012 年 12 月,于 2014 年成为东莞市社会保险定点医疗机构、东莞市社会保险定点工伤康复机构、东莞市残疾评定定点机构。编制康复床位 500 张,实际开放床位 380 张。全院职工将近 310 名,拥有一支高素质的康复治疗技术团队,配有各类卫生专业技术人员 261 名,其中高级职称 34 名,中级职称 91 名,博士 4 名、硕士 13 名。

康复医院为东莞及周边地区有康复需求人群提供全方位全生命周期的康复医疗服务,提供集运动、水疗、理疗、作业、言语、心理、中医、辅具器具适配等治疗项目,设置脑卒中康复科、颅脑损伤康复科、脊髓损伤康复科、骨与关节康复科、疼痛康复科、烧伤康复科、心理康复科、重症康复科、老年康复科、髋膝关节康复科、脑瘫暨肢体畸形治疗中心、中医科、儿童康复科等多个康复亚专科。儿童康复科、康复护理、脑卒中康复科、心理康复科被评为东莞市临床特色专科。针灸科与神志病科获评为东莞市 2024 年中医特色专科。

康复医院拥有一批先进的康复医疗设备,包括水疗、高压氧舱、智能下肢外骨骼康复系统、下肢机器人、螺旋 CT、高档彩色多普勒超声诊断仪、经颅磁治疗仪等,显著提升了医院整体康复医疗技术水平,保障临床诊断及康复治疗工作顺利开展。