

拟推荐 2024 年中华医学科技奖候选项目/候选人 公示内容

推荐奖种	医学科学技术奖（非基础医学类）
项目名称	脑卒中镜像康复机器人关键技术创新及其应用
推荐单位 /科学家	江苏省医学会
推荐意见	<p>本成果用于提高脑卒中偏瘫患者的康复治疗效果、加快康复进程，是一种结合镜像治疗且具有高度学科交叉的康复机器人系统。为了解决制约康复工程发展的瓶颈问题，在国家和省部级项目的支持下，项目组在多个方面取得了系统性突破。全面推动了我国康复机器人自主研发能力与技术水平迈上新的台阶的步伐。其中包含了融合生理和行为信息的主动运动意图识别技术、镜像训练和自主训练相结合的多模态康复训练技术、闭环自主控制的功能电刺激新装备和基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人。</p> <p>项目成果授权发明专利 12 项、医疗器械注册证 3 项、临床范式 1 项。该成果截止到目前已经服务了大量脑卒中偏瘫患者，技术水平得到多个第三方机构的高度评价，以核心技术服务了 4 家企业、6 家三甲医院，引领了国产医疗装备关键技术的自主创新和进口替代，取得了较好的社会效益和经济效益。</p> <p>我单位已认真审核项目填报各项内容，确保材料真实有效，经项目完成人所在单位公示无异议，推荐其申报 2024 年中华医学科技奖。</p>
项目简介	<p>脑卒中发病率、致残率居高不下，我国现有卒中患者 1494 万人，每年新发卒中 330 万人，其中约有 80% 患者留有不同程度的残疾，给个人健康、家庭幸福、社会发展带来了巨大的负担。康复机器人等新型康复干预手段可实现科学有效的康复训练，能够显著改善患者康复效果，提升日常生活能力和生活质量，但当前国内外普遍缺乏临床认可、患者接受、智能可靠的康复机器人，亟待开展精准、舒适、智能的康复机器人关键技术及应用研究。为此，项目组从 2017 年起，在国家重点研发计划等项目的支持下，通过产学研协同创新，在主动运动意图识别、功能电刺激、镜像康复训练等技术取得了突破，全面提升了我国康复机器人整体创新水平与自主研发能力，具体包括：</p> <p>1、提出了融合生理和行为信息的运动意图识别新方法。针对现有康复机器人缺少多模态信号协同感知、主动意图识别精度不高等问题，本项目研制了融合惯性测量单元和肌电的肢体动作捕捉系统，拓宽了康复机器人感知通道；提出了融合生理和行为信息的运动功能状态辨识方法，构建了基于特征提取的多视图肌电手势识别方法和基于虚拟手势对抗网络的肌电手势识别方法，识别率提升至 90% 以上。</p> <p>2、突破了镜像康复训练柔顺控制新技术。针对现有康复机器人柔顺控制不足、患者体验感差的现状，本项目提出了一种基于贝叶斯优化方法推荐按需辅助控制策略，实现了辅助力度随训练轮数自适应调整，提升了康复机器人-机交互的柔顺性；构建了基于非线性振荡器的动态运动基元算法，实现了镜像轨迹在线动态学习调整，提高了患者康复训练的舒适度与主动参与康复训练意愿。</p> <p>3、探索出镜像控制的功能电刺激新途径。针对生物反馈时延长、训练模式有限等问题，本项目突破了超低时延的闭环功能电刺激技术，镜像训练延迟时间低于 200ms，省内率先取得 CFDA 医疗器械注册证并应用于临床；提出了功能电刺激和机器人助力智能组合训练新方法，拓展了康复机器人临床新范式，填补了国内功能电刺激与康复机器人组合康复训练设备的空白。</p> <p>4、研发出智能化的脑卒中镜像康复机器人。研发了桌面式上肢康复机器人，建立了多感官协同交互反馈技术体系，设计了多元化、沉浸式的游戏场景，实现了主动、被动、镜像等多种训练</p>

模式，解决了康复机器人训练模式单一的问题。研发了四自由度下肢康复机器人，建立了人机耦合动力学模型，实现了脑卒中患者主/被动康复训练模式的自适应转换，提升患者主动参与度。研发了步行减重下肢外骨骼机器人，发展了机器人构型综合与优化设计方法，功能性和安全性超越临床需求。经江苏省康复医学会认定，建立了《临床应用机器人康复训练流程与规范》。

项目成果授权发明专利 12 项、医疗器械注册证 3 项、临床范式 1 项，研究成果受到美国伊利诺伊大学的 Harris Nisar 教授等第三方的高度评价。整体服务了包括 2050 例脑卒中偏瘫患者，涵盖医院 6 家；技术应用到 4 家企业，引领了国产医疗装备关键技术的自主创新和进口替代，近两年经济效益突破 1.17 亿元，取得了显著的社会经济效益。

代表性论文目录

序号	论文名称	刊名	年,卷(期)及页码	影响因子	全部作者(国内作者须填写中文姓名)	通讯作者(含共同,国内作者须填写中文姓名)	检索数据库	他引总次数	通讯作者单位是否含国外单位
1	LatLRR-FCNs: Latent Low-Rank Representation With Fully Convolutional Networks for Medical Image Fusion	Frontiers in Neuroscience	2021, 14: 1387-1394	5.152	徐争元, 向文涛	刘宾, 李建清	sci	4	否
2	A Multi-Mode Rehabilitation Robot with Magnetorheological Actuators Based on Human Motion Intention Estimation	IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering	2019, 27(10): 2216-2228	4.528	徐嘉骏	徐林森	sci	36	否
3	A Multi-Channel Reinforcement Learning Framework for Robotic Mirror Therapy	IEEE Robotics and Automation Letters	2020, 5(4): 5385-5392	4.321	徐嘉骏	徐林森	sci	12	否
4	A Cable-Driven Three-DOF Wrist Rehabilitation Exoskeleton With Improved Performance	Frontiers in Neurorobotics	2021, 15	3.1	石轲	宋爱国	sci	20	否
5	Novel	frontiers	2021	3.6	郑瑜, 张英杰,	陆晓	sci	18	否

	lncRNA-miRNA-mRNA Competing Endogenous RNA Triple Networks Associated Programmed Cell Death in Heart Failure	in Cardiovascular Medicine	6:8:747449.		张秀, 党旖旎				
6	Patch Attention Layer of Embedding Handcrafted Features in CNN for Facial Expression Recognition	Sensors	2021, 21(3): 833	3.9	梁兴灿	徐林森	sci	16	否
7	Robotic mirror therapy system for lower limb rehabilitation	Industrial Robot	2020, 48(2): 221-232	1.8	程高新	徐林森	sci	4	否
8	A robotic system with reinforcement learning for lower extremity hemiparesis rehabilitation	Industrial Robot	2021, 48(3): 388-400	1.8	徐嘉骏	徐林森	sci	0	否
9	基于ROS和CANopen协议的控制实时通信系统构建	中国科学技术大学学报	2018, 48(9): 703-710	0	贾鹏飞	徐林森	ei	21	否
10	Signal Quality Assessment and Lightweight QRS Detection for Wearable ECG SmartVest System	IEEE Internet of Things Journal	2019, 6(2): 1363-1374	9.936	刘澄玉, 李建清	刘澄玉	sci	58	否

知识产权证明目录

序号	类别	国别	授权号	授权时间	知识产权具体名称	全部发明人
----	----	----	-----	------	----------	-------

1	中国发明专利	中国	ZL202111367239.9	2022-05-20	一种脑卒中患者上肢康复训练系统	刘宾;赵彦峰;钱蕴知;李建清;吴希希;吴霖;王荣坤;冯赵丹;兰悦;冒金阳;周鑫
2	中国发明专利	中国	ZL201711395042.X	2019-05-24	基于力觉信息和姿态信息的肢体运动意图理解与上肢康复训练机器人及其控制方法	宋爱国;石珂
3	中国发明专利	中国	ZL201811494155.X	2021-02-26	基于距离分段加权算法的可穿戴体表电势采集装置	李建清;朱松盛;方文胜;刘宾;王惠琳;徐静怡;孟诚;王保民;钱明泽
4	中国发明专利	中国	ZL202210681225.2	2024-04-07	基于深度学习的脑卒中早期康复后功能预测模型建立方法	陆晓;郑瑜;张心彤;张秀
5	中国发明专利	中国	ZL201910669502.6	2021-01-28	一种绳索驱动三自由度的训练机器人	宋爱国;石珂
6	中国发明专利	中国	ZL202111019791.9	2022-10-04	机器人辅助脑卒中患者上肢多模态镜像康复训练评分系统	刘宾;钱蕴知;吴希希;李建清;李亮;陈臻;冒金阳;周鑫;杨振宇;邹晓伟
7	中国发明专利	中国	ZL202110562915.122.0	2021-10-19	一种绳索康复机器人运动学参数标定和解算方法及系统	宋爱国;厉叶;李会军;石珂
8	中国发明专利	中国	ZL201910743785.4	2024-01-09	一种机器人关节无级变速装置	徐林森;陈寿起;刘进福;徐鸿;石佳;程高新;曹凯;刘磊;徐嘉骏;张亮;付为国
9	中国发明专利	中国	ZL202011518034.1	2022-12-27	一种外骨骼机器人主动训练用步态协调助力控制系统	何锋;黄河;程爱平;陈赞;邢启鹏;蒋旭钢
10	中国发明专利	中国	ZL202011283777.5	2021-09-03	基于高频心电的心脏交感活性检测装置	刘澄玉;邢彦涛;李建清

完成人情况表

姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
李建清	1	南京医科大学	南京医科大学	教授,教授	原副校长
对本项目的贡献	为本项目的发起者,参与项目的整体设计、关键技术研发与体系创建,在整个项目的研究思路方面提出创新思想,与项目组成员合作完成了主动意图识别技术、上/下肢镜像康复机器人等研究工作。本项目2个主要知识产权的主要发明人,对创新点【1】【2】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的60%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
陆晓	2	江苏省人民医院	江苏省人民医院	教授,教授	行政主任

对本项目的贡献	为本项目的课题负责人，参与项目的整体设计、关键技术研发与体系创建，在整个项目的医学临床研究思路方面提出创新思想，并结合临床需求实际，进行上/下肢镜像康复机器人临床验证的相关研究工作。对创新点【3】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 60%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
刘宾	3	南京医科大学	南京医科大学	副教授,副教授	院长助理
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目上肢康复机器人的研发，与项目组成员合作完成了主动意图识别技术、镜像康复技术等研究工作。本项目 2 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【1】【2】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 70%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
徐林森	4	河海大学	河海大学	教授,教授	特种机器人技术研究所副所长
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，主持基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人的设计开发、样机制造和性能测试等工作。本项目 2 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【2】【4】做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 50%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
宋爱国	5	东南大学	东南大学	教授,教授	原院长
对本项目的贡献	参与项目上肢康复机器人的研发，与项目组成员合作完成了镜像康复技术、柔索驱动上肢康复机器人等研究工作。本项目 2 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【3】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 40%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
刘澄玉	6	东南大学	东南大学	教授,教授	院长
对本项目的贡献	对穿戴式心电信号进行了质量评估研究，包括不同电极材料的质量评估，不同质量特征对质量判别的影响，此外构建了一种基于高频心电图的心脏交感活性检测装置等，对创新点【3】做出了重要的贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 40%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
黄河	7	南京伟思医疗科技股份有限公司	南京伟思医疗科技股份有限公司	高级工程师,高级工程师	副总监
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目下肢康复机器人、生物刺激反馈仪的研发，与项目组成员合作完成了主动意图识别技术、镜像康复技术等研究工作。本项目 2 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【1】【2】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 60%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
向文涛	8	南京医科大学	南京医科大学	副教授,副教授	无
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目上肢康复机器人的研发，与项目组成员合作完成了主动意图识别技术、镜像康复技术等研究工作。本项目 2 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【1】【2】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 70%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
朱松盛	9	南京医科大学	南京医科大学	副教授,副教授	系副主任

对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目生理信号检测与自动识别等研究工作，为主动意图识别提供前端技术支撑，为多模态康复实时监测提供基础，对创新点【1】【2】做出了贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 60%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
曹凯	10	中国科学院合肥物质科学研究院	中国科学院合肥物质科学研究所	高级工程师,高级工程师	无
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，主持基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人的设计开发、样机安装调试等工作。本项目 1 个主要知识产权的主要发明人，对创新点【2】【4】做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 50%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
李会军	11	东南大学	东南大学	教授,教授	无
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目上肢康复机器人的研发，完成了绳索驱动上肢康复机器人等研究工作。对创新点【4】做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 70%。				
姓名	排名	完成单位	工作单位	职称	行政职务
程爱平	12	南京伟思医疗科技股份有限公司	南京伟思医疗科技股份有限公司	高级工程师,高级工程师	无
对本项目的贡献	为本项目的主要参与者，参与项目下肢康复机器人的项目管理与技术研发，与项目组成员合作完成了外骨骼机器人主动训练用步态协调助力控制技术、康复减重技术等研究工作。本项目主要知识产权《一种外骨骼机器人主动训练用步态协调助力控制系统》的发明人之一，对创新点【1】【2】【4】均做出了重要贡献。本人在该项技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 60%。				
完成单位情况表					
单位名称	南京医科大学		排名	1	
对本项目的贡献	作为主要完成单位完成了创新点【1】，【2】，【4】，协助完成了创新点【3】。本项目研制的上/下肢镜像康复机器人、生物刺激反馈等设备的主要研发单位，提供了先进的研发实验条件。				
单位名称	江苏省人民医院		排名	2	
对本项目的贡献	作为主要参与单位完成了创新点【2】，协助完成了创新点【3】。是本项目研制的镜像康复机器人、生物刺激反馈等设备的主要应用单位之一，是脑卒中康复机器人康复流程与规范的主要起草单位，为脑卒中镜像康复机器人的应用示范起到了推动作用。				
单位名称	河海大学		排名	3	
对本项目的贡献	作为本项目的主要参与单位，主持基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人的设计开发、样机制造和性能测试等工作，对创新点【2】【4】做出了重要贡献。				
单位名称	东南大学		排名	4	
对本项目的贡献	作为主要参与单位完成了对穿戴式心电信号进行了质量评估研究，包括不同电极材料的质量评估，不同质量特征对质量判别的影响，此外构建了一种基于高频心电的心脏交感活性检测装置等，对创新点 3 做出了重要的贡献。				
单位名称	南京伟思医疗科技股份有限公司		排名	5	
对本项目的贡献	作为本项目的主要参与单位，主持基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人的设计开发、样机制造和性能测试等工作，对创新点【2】【4】做出了重要贡献。				

单位名称	中国科学院合肥物质科学研究院	排名	6
对本项目的贡献	作为本项目的主要参与单位，开展意图识别算法、基于镜像原理的脑卒中上/下肢康复机器人的设计开发、样机安装与调试等工作，对创新点【1】【2】【4】做出了重要贡献。		