

# 从脑电解码到神经调控，武汉大学中南医院打造脑机智能神经调控中心 脑机接口技术让疑难神经疾患重获新生



患者接受“脊—机接口手术”后重新恢复了行走。



潘杨正在给帕金森患者进行时间干涉无创深部电刺激治疗。



用功能性近红外光谱成像技术给患者进行检测。



中南医院与依瑞德公司签署战略合作协议。

## 打造武汉 医疗名片



科学界一直畅想着如果能给大脑连上黑科技装置，发出指令进行调控就能“修复重启”人体系统。如今，科幻片里描绘的场景随着脑机接口研究成果正在逐渐变成现实。

脑卒中后失语、脊髓损伤导致截瘫、药物难治性癫痫、帕金森引起的难治性震颤……这些传统治疗束手无策的疑难神经疾病迎来了治疗新曙光。

日前，武汉大学中南医院整合多学科专业力量，成立“脑机智能神经调控中心”，并开设疑难神经疾病脑机接口专科门诊，创新性地融合无创神经调控与微创脑机接口技术，为饱受运动、言语及沟通障碍折磨的患者提供突破性精准治疗方案。

文/刘璐 张翼飞 丁燕飞

## 贴上无创“魔法贴片” 让帕金森患者动作从卡顿恢复流畅

“一种像‘魔法贴片’一样的脑机技术，正在给帕金森患者带来治疗新希望。”武汉大学中南医院神经内科运动障碍亚专科组长潘杨教授介绍，这种技术叫“时间干涉无创深部电刺激”，是融合脑机接口、人工智能和无创神经调控的一项新技术。

治疗前，医生会通过磁共振和脑电设备把获取的脑机信号精准定位到神经元受损区域，为患者制定个性化的调控策略。治疗时，只需在患者头皮上贴上2块电极片，它们就会发出两路具有频差的高频交叉络电流。当两路电流在大脑深处交汇碰撞后，会产生一个新的、低频电流场，精准抵达病灶区域，实现深部核团的无创精准刺激。

潘杨透露，这个电流场就像精准的“按摩器”，直接作用到那些导致帕金森症状如僵硬、颤抖、动作慢的深部核团靶点，根据患者症状实时调整刺激参数，

为大脑定制专属“理疗方案”。

“帕金森是一种无法治愈的疾病，我们能做的就是通过治疗来延缓运动障碍出现的时间。”潘杨介绍，作为全省首家开展时间干涉电场无创深部电刺激技术预试验的医院，前期他们已针对近30位帕金森病患者进行了治疗。在连续治疗1个疗程后，此后每个月接受维持治疗，这些患者的运动迟缓和震颤症状分别改善了37%和36%，运动症状缓解显著。

据了解，时间干涉无创深部电刺激技术对于运动障碍、认知障碍、抑郁症等均有明显改善效果。“目前，我们正在致力于将脑机接口技术与时间干涉无创深部电刺激技术结合发展，将‘脑语翻译器’和‘脑部调节器’结合形成闭环调控，未来帕金森患者在家就能完成无创神经调控治疗。”潘杨表示。

## 脊髓里精准植入“神经加速器” “脊—机接口”重建大脑与肢体的“对话”

3年前，患有脊髓型颈椎病的彭先生接受手术治疗后，臀部持续麻木疼痛，双下肢虽能简单活动，却无力支撑站立和行走。武汉大学中南医院神经外科熊南翔教授为他实施了脊髓膨大脊—机接口植入。为了在调控双下肢运动功能的同时解决臀部疼痛，熊南翔团队在术中大胆尝试，精准地安放脊髓神经刺激电极，实现了“一箭双雕”。术后1个月，彭先生已经能拄着拐走路了。

“这枚‘脊—机接口’电极重建了大脑与肢体的‘对话’。”熊南翔解释，脊髓是大脑和外周神经系统之间“沟通”的主要载体，就像是一根电缆，将身体的感觉传递给大脑，大脑处理后再向身体各部分传递反应指令，调控身体各项感觉和运动功能。一旦脊髓受损，“电缆”通路中断，损伤节段对应的感觉和运动功能就会受影响，甚至丧失。

彭先生接受的“脊—机接口手术”通过在脊髓里植入一个芯片，芯片发出的电脉冲信号调节神经元的状态，从而缓解疼痛、改善肌肉功能和促进神经再

生，让异常的神经传导恢复正常。

国内外治疗偏瘫和截瘫患者以康复治疗为主，手段单一，速度较慢，相当一部分患者治疗效果并不理想，“脊—机接口”手术给这类患者带来了治疗新希望。目前，该团队已经完成30多例截瘫和100余例偏瘫的“脊—机接口”手术治疗，手术量和成功率全国领先。此外，该技术还能用于治疗顽固性疼痛、顽固性神经性耳鸣、糖尿病足及植物人的促醒。

在熊南翔看来，对疾病的神经电生理数据的解读是脑机接口的核心。脑机接口要取得突破，就需要在天书般的神经电生理信号中，发现每个电生理数据的“独特指纹”。

据了解，熊南翔教授在临床神经电生理的研究与应用领域深耕多年，是全国最早把神经电生理监测技术用于神经外科手术专家之一。2016年，他牵头成立了湖北省神经电生理与调控学会，大力促进了湖北地区神经电生理和神经调控技术的发展。

## 无创脑机“探脑”+磁电精准“调控” 神经功能重塑方案让卒中患者恢复运动

今年5月，来自咸宁的陈老伯因双侧基底节大面积脑梗陷入昏迷，转入中南医院神经康复科后，团队经评估决定在对其进行常规康复治疗的同时，进行无创脑机接口联合磁电闭环神经调控技术治疗。“第一个疗程他就出现明显手指动作。”神经康复科主任章鑫说，治疗20天后，尽管老人还未睁眼，但能理解并听从医生的指令完成“夹烟”“剃须”等复杂动作。目前，老人已经完全清醒。

据介绍，陈老伯采用的磁电闭环神经调控技术来自武汉依瑞德医疗设备新技术有限公司自主研发的磁电闭环神经调控系统。“我们采用的功能性近红外光谱成像技术，能够无创检测患者大脑血氧信号变化。”章鑫介绍，这些信号能反映患者大脑神经活动，精准评估患者的意识状态以及脑区激活水平。

之后再采用磁电联合神经调控技术进行治疗，将作用于大脑的磁刺激与

作用于肢体的电刺激同步结合，促进受损神经通路的修复，帮助脑卒中、脊髓损伤患者恢复运动功能。“通过近红外光谱成像技术，医生还可以监测到磁电联合神经调控治疗时，患者脑区相应的反应，辅助优化治疗策略。”

“我们科早在2016年就开始不断探索神经调控技术的临床应用。”章鑫坦言，研究中发现，通过神经通路的重建有望重塑神经功能，脑机接口、人工智能与神经调控三项技术的创新融合，为神经功能的重塑带来了可能。去年至今，科室已治疗了近20例脊髓小脑共济失调患者，平衡功能均得到明显改善。

“目前，我们在脑电闭环的神经调控和基于运动想象的脑机接口两个方向，正在与相关企业进行联合科研。”章鑫说，下一步还将对磁电闭环神经调控技术进行升级，为更多患者提供有效的康复新选择。

## 骶神经调节器突破“黑盒”难题 膀胱过度活跃症或迎智能疗法

正常排尿是膀胱与神经精密协作的结果：储尿时膀胱自动放松，排尿时尿道精准开合。然而，膀胱过度活跃症等疾病患者却因神经调控异常，陷入“频繁尿意—紧急如厕—排尿困难”的恶性循环。

中南医院泌尿外科肖行远主任医师介绍，目前主流的骶神经调节术虽能通过将电极植入骶神经位置，改善膀胱、括约肌和盆底肌的协同，但其机制如同“黑盒”——医生只能凭经验和体征调整参数，无法实时感知神经信号反馈，导致20%~30%患者疗效不佳。

针对这一痛点，2024年初中南医院泌尿外科联合衷华脑机，研发出一款融合脑机接口技术的反馈式双通道骶神经调节器。设备不仅可发射电刺激，更能实时接收神经发出的电磁信号，通过AI算法动态解读膀胱状态，实现“监测—分析—调控”闭环管理。

骶神经调节最早用于尿失禁治疗，后拓展至慢性盆腔疼痛与排便功能障碍的改善。随着直肠癌保肛技术的持续进步，更多患者留住了肛门，但术后排便功能障碍并不少见。临床上，60%~90%的保肛患者会出现不同程度的低位前切除综合征(LARS)，主要表现为大便失禁、排便急迫、排空困难与排便疼痛等。

“临床上，我们观察到部分中重度LARS患者在接受骶神经刺激后，症状得到不同程度改善。”中南医院结直肠肛门外科主任江从庆介绍，近年多项多中心研究提示，骶神经刺激可降低失禁发作、缓解排便急迫并提升生活质量。武汉大学中南医院作为牵头起草单位之一，在刚刚发布的《低位前切除综合征诊治中国专家共识(2025版)》中，已将骶神经调控纳入规范化治疗路径。

## “神经调控+脑机接口”融合创新 为盆底功能障碍及便秘患者带来新希望

面向顽固性便秘这一难题，结直肠肛门外科团队同样将目光投向“神经调控+脑机接口”的融合创新研究。“研究中我们注意到，部分便秘患者可能存在迷走神经功能异常。”该科便秘诊疗中心主任任相海介绍，迷走神经是副交感神经的重要组成部分，参与肠道运动与炎症调控，对结肠蠕动具有广泛影响。因此，靶向迷走神经有望成为恢复结肠动力的策略之一。

任相海刚从国外完成消化道神经调控研究回国。他透露，团队构想以脑机接口感知大脑对肠道的调控信号，再由神经调控作用于胃肠神经系统，形成“感知—决策—刺激”的闭环，更准确地调节肠道功能。通俗地说，就像为肠道安装一套“智能调节器”，按需、定量地发出调控指令。

### 【专家访谈】

脑机接口按植入方式包括侵入式、非侵入式和半侵入式。武汉大学中南医院脑机智能神经调控中心首席专家、神经外科教授李志强介绍，在侵入式脑机接口上，北京、上海和天津处于领先地位，其中有些项目已进入临床试验阶段；在湖北，脑机接口技术表现同样亮眼，成果主要集中在非侵入式脑机接口方面。

“非侵入式脑机接口不仅应用场景成熟，而且容易被大众接受，湖北有望在非侵入式脑机接口领域占据高地，这既是难得的机遇，也是巨大的挑战。”李志强说，早在2016年，中南医院便整合多学科资源成立了脑机中心，2021年又设立了脑科医院。在脑机接口研究方面，团队通过神经外科中对不同脑区的脑电采集分析开展脑功能研究，在康复外骨骼研发、脊髓电刺激及精神认知疾病的磁治疗等多个方面，开展了一系列前期探索。

“脑机接口技术既包括治疗，也包括监测。”在李志强教授看来，脑机接口技术建立在神经调控技术基础之上，借助计算机算法和人工智能形成闭环系统；而神经电生理信号采集与分析则是脑机接口的前端关键技术。据了解，中南医院在神经电生理监测和神经调控技术领域起步早、技术全面且领先，成为湖北省该领域的佼佼者。目前，医院已构建从非侵入式调控到微创植入的全链条脑机接口技术体系，能够为不同阶段、不同类型的神经损伤患者提供最适配的解决方案，让患者最大程度受益。

今年7月，中南医院与武汉依瑞德医疗设备新技术有限公司举行战略合作签约仪式，共同成立“脑机智能神经调控中心”。

李志强表示，院企双方将围绕该领域的关键技术瓶颈开展联合攻关，研发适用于临床场景的技术和设备，解决临床难题。以神经外科常见的外伤性颅脑损伤为例，传统脑电监测需要穿透颅骨采集，存在信号衰减问题，而在颅骨缺损窗口期获取脑电信号则更具优势，利用好该窗口期可能实现神经调控的精准化和高效化。“这些方向都将成为双方合作的重点领域。”李志强同时期望通过此次合作，整合全省脑机设备临床大数据，对现有医疗技术和设备进行迭代升级。

据悉，作为国内非侵入式脑机接口和神经调控技术的领军企业，依瑞德公司长期深耕脑科学技术的研发和实际应用。公司总裁蔡胜安表示，这次与中南医院的合作，将充分发挥双方优势，重点推进“磁电闭环”等新技术的临床落地，让更多患者受益。此外，双方还将共同研发针对肿瘤患者的新型侵入式脑机接口技术。蔡胜安介绍，公司未来将持续优化多模态闭环脑机接口技术，并与中南医院等省内顶尖医院合作，共建技术创新和临床示范中心，重点攻克非侵入式脑机接口在抑郁症、植物人唤醒、瘫痪康复、脑卒中等重大神经疾病治疗上的突破性应用，力争实现国内甚至全球首例成功案例。

在介绍后续工作重点时，李志强透露，目前中南医院正在与高校人工智能团队合作，将传统需医生监测的电生理数据转化为AI识别，实现智能预警。同时，与高校物理团队合作研发，将介入式有创脑电监测仪转化为无创多模态脑功能监测仪，对脑电信号进行采集处理，研发更安全、更有效的脑机接口设备。“产学研深度协同模式正推动中南医院脑机接口技术，向智能化、微创化、精准化方向跨越式发展，让尖端医疗服务能真正普惠落地。”他表示。

## 攻关脑科学临床应用，布局脑机接口多场景应用高地