
理化所在长期植入式液态金属外周神经电极研究方面获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19717.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

卡肤电极是一种外周神经电极，能够与外周神经束形成连接，以获取神经信号或对神经进行刺激，主要应用于神经科学研究、神经疾病治疗、神经假体和神经接口领域。目前商业化的卡肤电极多采用铂、铱、钛、钨等固态金属材料作为信号传递的导体，这些以固态金属为基材的电极在长度上几乎无法拉伸。而人或动物的身体比较灵活，能够弯曲、扭曲、伸展到不同位置和长度。传统的固态金属卡肤电极无法跟随生物体姿态变化进行大幅度的拉伸扭曲，难以满足科学研究和临床医学对理想生物电极的需求。

液态金属材料兼具流体的流动性和金属的导电性，在制备柔性、可拉伸的神经接口方面有很大的应用前景。此前，中国科学院理化技术研究所液态金属与低温生物医学研究中心针对液态金属神经接口进行了系列开拓性探索。理化所与清华大学联合研究小组于2014年首次报道了液态金属神经连接与修复技术，证实通过引入液态金属接通牛蛙截断的坐骨神经，可实现上下游神经信号的传输和肌肉功能的响应（arXiv:1404.5931v1）。随后，团队又开展了液态金属管缝合小鼠坐骨神经完成信号传输（Sci. Bull. 2016, 61(12), 939-947），以及制备液态金属电极阵列植入牛蛙作为坐骨神经信号发生器实现运动功能重建（J. Micromech. Microeng. 2017, 27(10), 104002）等系列工作，证实了液态金属材料 and 电极在进行急性神经重新连接、神经刺激和心电信号记录的可行性，为更广范围神经信号传递、采集与刺激应用打下了基础。

近日，液态金属与低温生物医学研究中心副研究员李雷与北京理工大学智能机器人与系统高精尖创新中心副研究员汤戎昱合作，研发了液态金属卡肤电极，成功地将其植入到大鼠体内。在为期两周的实验中，体内植入了液态金属外周神经电极的大鼠处于自由活动状态，电极不仅能够适应大鼠身体伸展扭转等姿态变化，还实现了运动状态下大鼠神经信号的长期采集与刺激，显示出液态金属电极作为人工外周神经并替代生物外周神经功能的潜力。相关成果以Towards an artificial peripheral nerve: liquid metal-based fluidic cuff electrodes for long-term nerve stimulation and recording为题发表于Biosensors and Bioelectronics。

该研究中，研究人员首先制备了液态金属卡肤电极（图1），并进行了一系列体外测试。研究表明，液态金属电极具有良好的可拉伸性和可扭转性，其弹性模量比Pt小 10^5 - 10^6 倍、与PDMS及一些典型的柔性生物组织如骨骼肌和皮肤相近（图2），这将有助于减少电极植入后对生物组织的机械损伤。液态金属电极还具备良好的导电性，其电导率远远高于导电水凝胶

、离子液体和PEDOT:PSS，并与Pt处于同一数量级（图3）。液态金属具有室温液态的特性，在拉伸后也能保持出色的导电性，这是Pt等刚性电极所不具备的优势，由此制成的液态金属外周神经电极能够适应生物体的反复拉伸或扭曲等姿态变化，同时仍能保持高信噪比神经信号的稳定有效双向传输。

进一步地，研究人员将液态金属卡肤外周神经电极植入到大鼠体内（图4a），并初步实现了人工外周神经的多种功能。CT照片显示液态金属电极在大鼠体内随不同身体姿态呈现拉伸和松弛状态（图4b）。研究统计了多只大鼠不同身体姿态下从头部到坐骨神经路径的长度（图4c），数据显示不同姿态下平均路径长度存在较大变化，体现出研发可拉伸外周神经电极的价值。

在体植入的液态金属外周神经电极不仅经受了大鼠自由运动状态下的反复拉伸，还始终保持了运动和感觉神经信息在电极内双向传输的能力。在植入后第1天和第14天，液态金属电极同步采集了大鼠在跑台上模拟人类行走过程中的坐骨神经信号，并从中分离出了与步行周期高度相关的簇发神经信号模式（图5）。采集到的坐骨神经信号能量在0-800 Hz均有分布，但主要集中在0-60 Hz的局部场电位低频段。除了较强的局部场电位信号之外，研究也检测到存在大量的神经脉冲，并且呈现与步行周期高度相关的分布特征。

液态金属电极还成功地把模拟神经脉冲电信号传输给自由状态下的大鼠坐骨神经，在大鼠的躯体感觉脑区诱发出刺激事件相关脑电位，液态金属电极从坐骨神经本身也记录到刺激诱发的大量神经场电位和动作电位（图6）。实验利用液态金属电极通过100微安的双脉冲电流对大鼠坐骨神经进行刺激，统计分析同步采集的大鼠脑电信号显示，刺激诱发了脑皮层事件相关电位，进一步通过脑源定位分析显示刺激诱发电位主要分布在大脑的躯体感觉脑区。除了脑电电极记录到的刺激诱发脑电信号之外，液态金属电极也记录到了刺激诱发的大鼠坐骨神经信号。信号能量主要集中在100 Hz-1 KHz的较高频段，其中存在大量的神经脉冲，刺激诱发信号峰值出现在250-500 ms之间。

上述在生物体内外的实验表明，液态金属外周神经电极不仅具备媲美外周神经的柔性和拉伸性能，而且实现了运动和感觉神经信号的长期双向传输，显示了其成为人工外周神经并替代生物外周神经功能的潜力。

人工外周神经具有广泛的应用前景，可以作为外周神经的接口器件，在神经科学、神经疾病和脑机接口等领域发挥着重要作用。未来，液态金属外周神经电极可以作为神经疾病监测设备的传感器、疾病干预设备的刺激器、脑机接口设备的信息传递媒介，甚至作为人工外周神经假体对损伤的外周神经组织进行修复、替代或增强。

[论文链接](#)

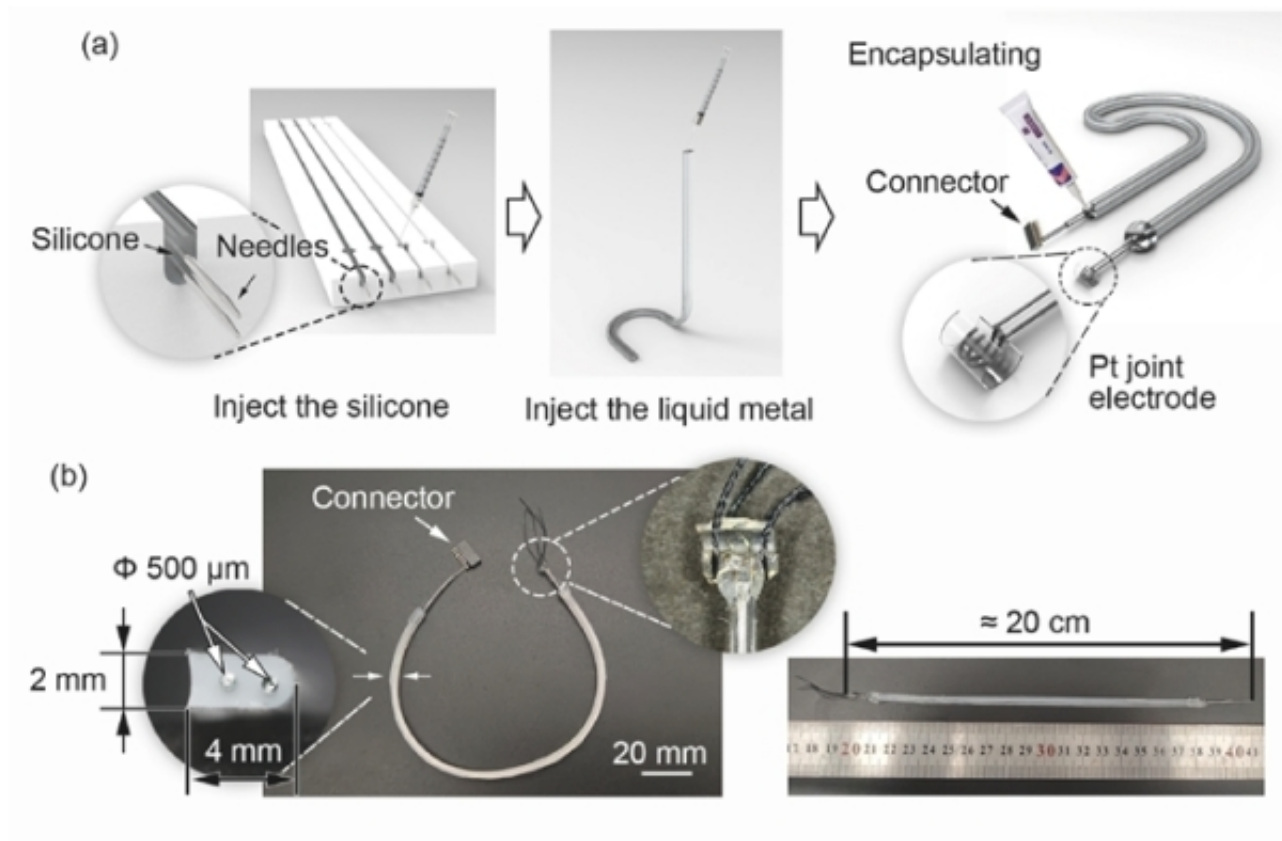


图1 液态金属卡肤外周神经电极的制备过程及实物照片

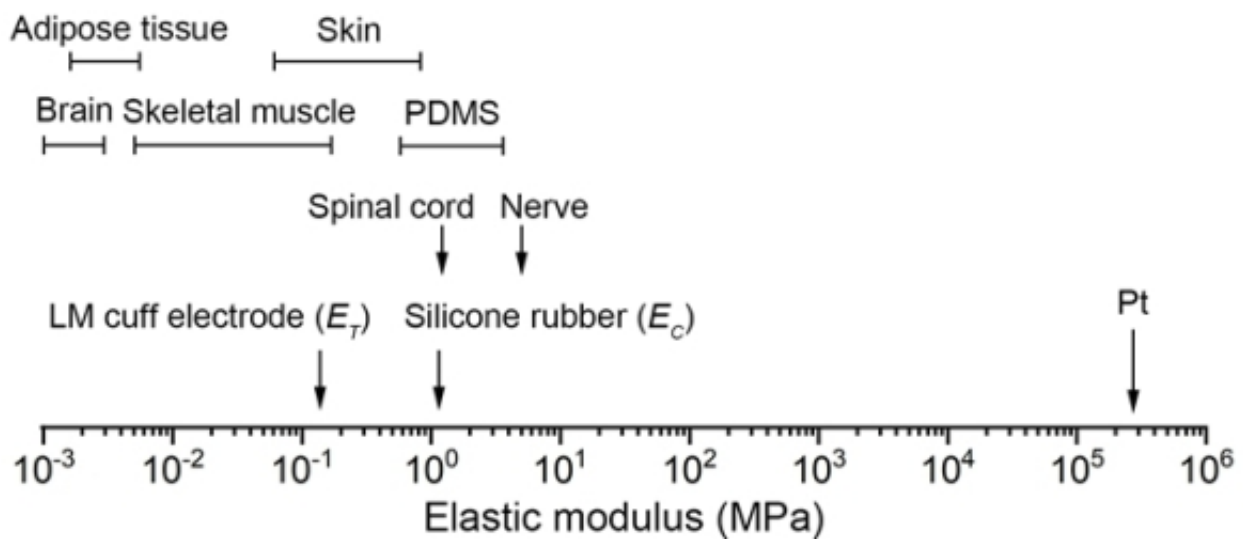


图2 液态金属卡肤外周神经电极及典型材料和组织的弹性模量

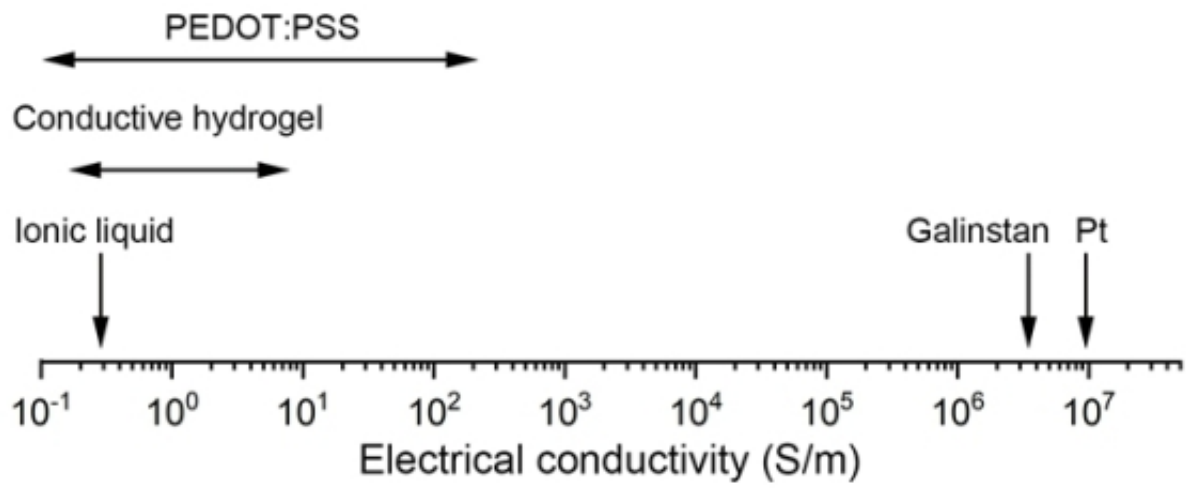


图3 液态金属卡肤外周神经电极及典型材料的电导率

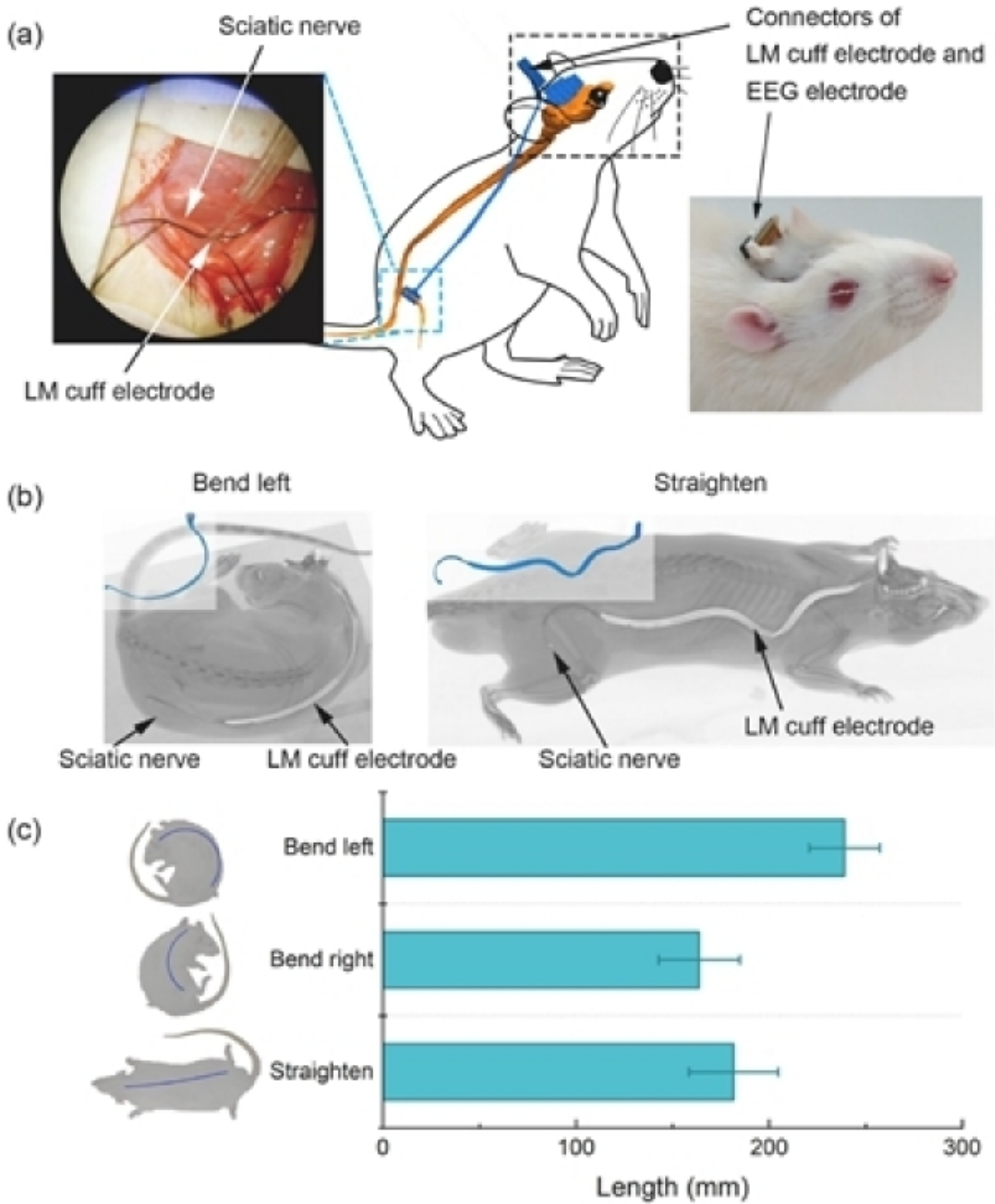


图4 液态金属卡肤外周神经电极的植入及在体CT图像

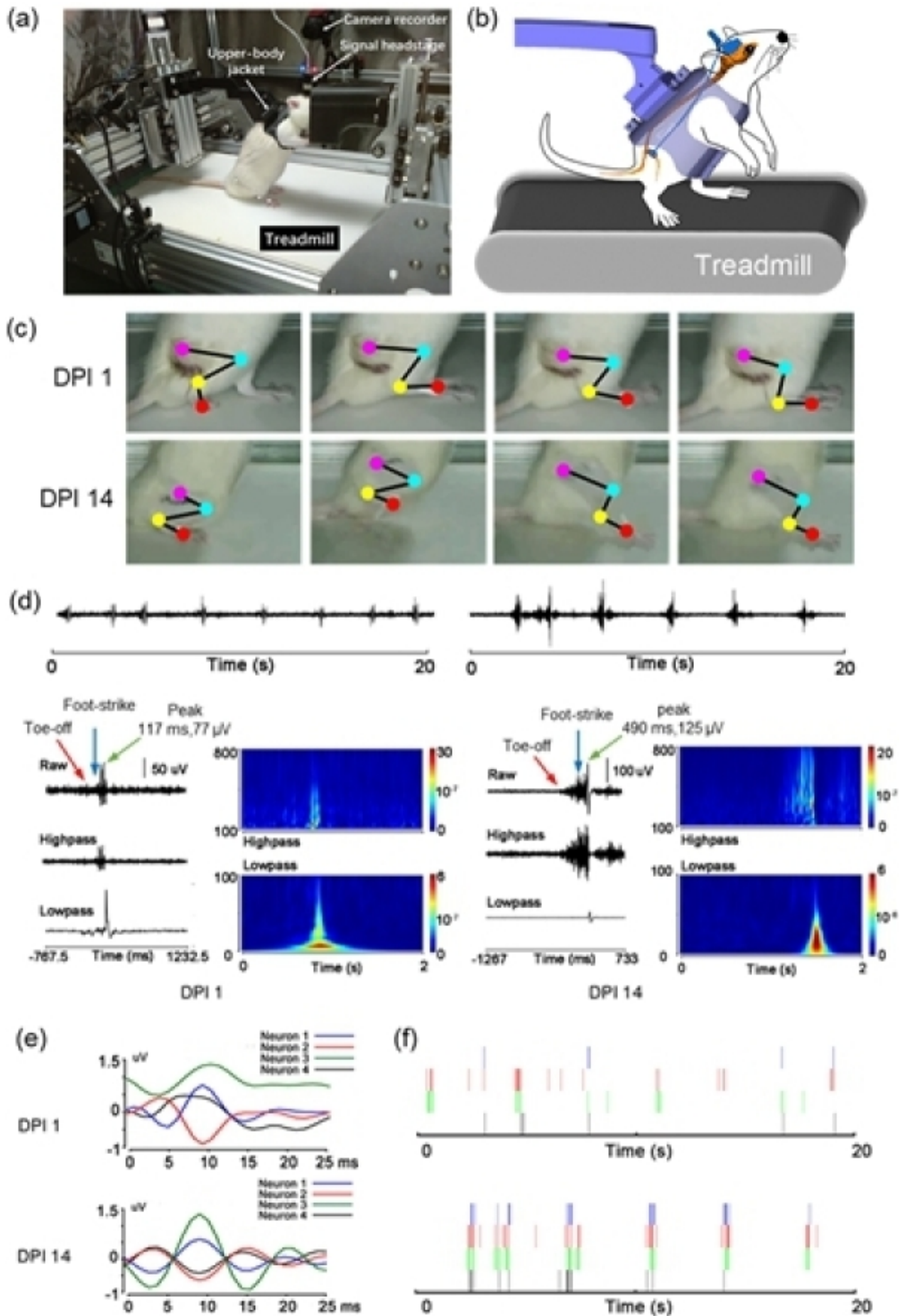


图5 大鼠在跑台上模拟人体步态行走时的运动捕捉步态信号、坐骨神经时序信号、信号频谱分布和神经脉冲信号

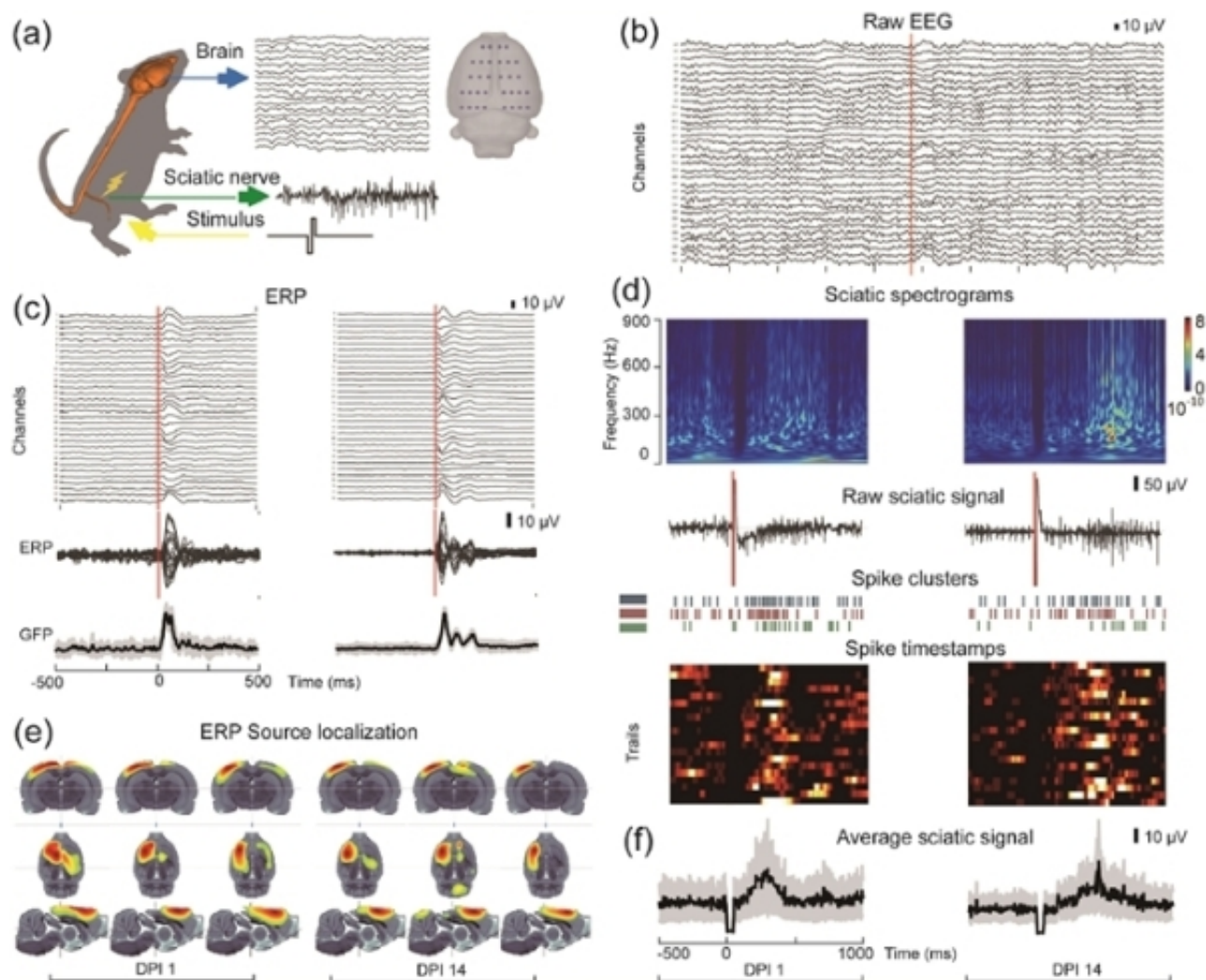


图6 清醒自由状态下，大鼠受到液态金属电极向坐骨神经传输的刺激信号，刺激诱发出脑皮层事件相关电位和坐骨神经事件相关信号

研究团队单位：理化技术研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发