

不打绷带，肌肉受伤“创口贴”来救

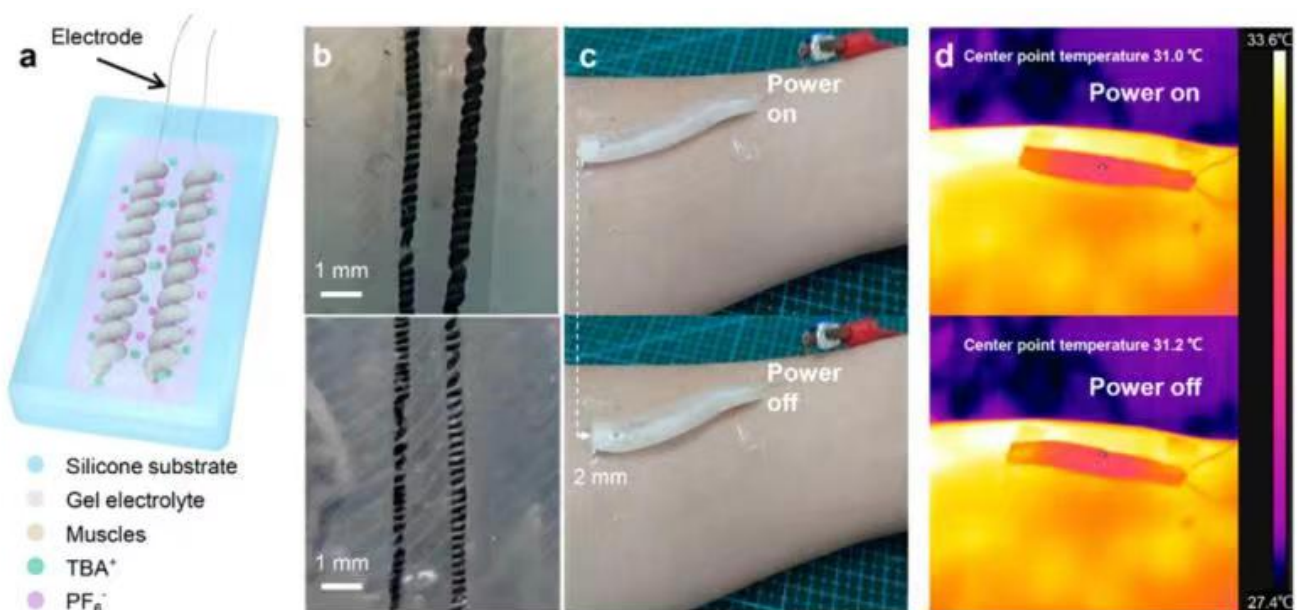
作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25646.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！

不打绷带，肌肉受伤“创口贴”来救。江苏大学机械工程学院副教授胡兴好曾经读了一篇科技类小说，里面介绍在一个小鼠生物实验中，受伤的小鼠贴了膏药后恢复了肌肉功能。这一描述让他大受启发，有没有一种具有运动修复功能的创口贴，哪里的肌肉受伤了就贴在哪里，使得受伤者可以免于穿戴背带、手套等辅助治疗的设备呢？

胡兴好把梦想变为了现实。他的团队在实验室制作出生物胶带。这种基于纤维人工肌肉的生物胶带，贴敷在受伤或者萎缩的人体肌肉上，在外部施加小幅电压下，胶带会自动收缩，从而带动肌肉组织的收缩，帮助受伤肌肉组织训练和恢复。日前，相关研究论文发表在《美国化学会—纳米》上。



基于电化学驱动纤维人工肌肉生物胶带的应用演示。课题组供图

把人工肌肉做成生物胶带

人工肌肉是人们依照动物骨骼肌，设计出的具有高输出应变、高输出能量、高输出功率以及大负载能力的柔性驱动器。正因为其体积小、运动自由度高、可以适应受限工作环境，因此在柔性骨骼、柔性飞行器、生物医疗、精准微创手术等领域都有着广阔的应用前景。

胡兴好一直从事人工肌肉驱动机理的研究。2021年1月，他在《科学》杂志发表论文，提出了一种新型高性能电化学驱动人工肌肉，探索出了人工肌肉的全新驱动机理，我们设计的新型电化学人工肌肉在一定频率范围内，随着驱动电压频率的增加，应变也会一直增加。这为人工肌肉的实际应用向前迈出一大步奠定了坚实的基础。当时评审专家认为，这种新型人工肌肉的设计和理论分析都很完美。

然而，一根纤维人工肌肉仅有100多微米，和头发丝差不多粗细，胡兴好认为，细如牛毛的纤维人工肌肉，要在外骨骼机器人等大型场景应用，对其能量、功率、材料等要求很高，其应用还是要先从小的方面入手。

胡兴好想到把自己研制的人工肌肉做成生物胶带，普通医疗胶带是药物在起作用，有效性短，药物失效了就不能再使用；生物胶带发挥的是物理作用，用人工肌肉的收缩带动人体肌肉收缩，体积小，随时可用，而且可以反复使用。

目前，市场上并没有类似的生物胶带存在，他面对的是一片蓝海。

材料改性是第一步

验证人工肌肉电化学驱动机理，并根据生物胶带的特殊要求解决结构设计和凝胶材质这两大难题，是推动纤维人工肌肉在医学上实际应用的关键。胡兴好说。

江苏大学机械工程22级硕士生张峰瑞负责生物胶带的制作与性能测试，他采用的是单根纤维电极与其他电极材料组成的三电极测试系统；而在制作生物胶带中，采用两根纤维组成相对电极，减轻了整体胶带的重量。用双纤维电极的测试结果显示：双纤维电极和单纤维电极对比，尽管结构不一样了，性能变化却不明显。

于是，胡兴好把研究重点放在了纤维人工肌肉材料上，材料改性是第一步。

碳纳米管纤维是国际公认的制作人工肌肉的理想材料之一，加捻成螺旋结构的碳纳米管纤维可以在电热、湿度、光照、电化学等方式下进行驱动。

胡兴好解释道，碳纳米管纤维有很多孔隙，在电化学电压作用下，电解液中的溶剂化离子会跑到碳纳米管纤维的孔隙中，从而使碳纳米管纤维的体积增大；再通过类似搓麻绳的加捻过程，将碳纳米管纤维体积膨胀转化为长度收缩。

碳纳米管纤维直接通电收缩效果非常明显，但放在电解液中却一动不动，收缩应变却只有1%。他尝试在碳纳米管纤维中加了其他的材料，通过大量的试验，找到了一种材料——聚苯乙烯磺酸盐。

数据表明，由碳纳米管纤维复合聚苯乙烯磺酸盐（PSS）制备出的纤维人工肌肉，其收缩应变提升到了5%，其输出应力也提升了近三倍。这也成为了制作生物胶带的基础材料。

尝试新型电解液

以前，我们关注的是在外界电压作用下，纤维人工肌肉可以伸多长、缩多短；现在，设计生物胶带是为了带动人体肌肉运动，我们更关注纤维人工肌肉在长度不变的情况下能够产生多大的力。

胡兴好表示，在生物胶带方向，研究从提升输出应变，转变成提升输出应力。

要让纤维人工肌肉在静止状态下产生更大的力，就好比让一个大力士在不动的状态下承受更多的重物，除了优化材料让离子数量进入得更多，还要增大每个进入离子的有效体积。这其中，电解液的选择非常关键。

此前，胡兴好一直研究的是液态电解液，水系电解液有自身缺陷，因为电压大了，水系电解液就变成了电解水。胡兴好通过实验，努力寻找另一种液态电解液，最终从汽车电池的有机电解液中吸取灵感，采用了有机电解液，其输出应变大幅度提高了16%。

生物胶带是一种凝胶敷贴，要让这种类似果冻的凝胶有效驱动纤维人工肌肉，胡兴好发现，从液体到凝胶，电解液变化了，纤维人工肌肉的性能衰减得很明显。

通过查阅文献和试验验证，不断更换凝胶的选型和浓度，胡兴好花了一年时间，最终找到了合适的凝胶电解液。张峰瑞告诉《中国科学报》，实验数据最终证明：纤维人工肌肉在凝胶电解液下的输出应变也能达到10%。

在胡兴好的实验室里，两条黑色纤维人工肌肉被固定在硅胶材料中，这就是生物胶带的雏形。把生物胶带贴在皮肤上，通上1至3伏左右的电压，会明显感觉到自己的皮肤和肌肉随着胶带在收缩。

胡兴好说，生物胶带还是实验室作品，透气性如何、是否会对皮肤产生影响，还需要进一步优化，以解决更多生物兼容性的问题。

科学研究就是不断探索的过程，会经历无数次失败，但是这些都会成为你研究的基石。基于纤维人工肌肉制作出生物胶带，只是电化学人工肌肉的应用场景之一。胡兴好计划进一步探索电化学驱动人工肌肉机理，在机理清晰的基础上广泛开展纤维人工肌肉的应用研究，例如仿生鱼、制作用于手部康复的康复手套、仿人机器人中的驱动模块、外骨骼机器人等。（来源：中国科学报 温才妃 吴奕）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/acsnano.3c07694>

作者：胡兴好等 来源：《美国化学会—纳米》

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