无需电池自驱动心脏起搏器问世——

你的心跳可“发电”

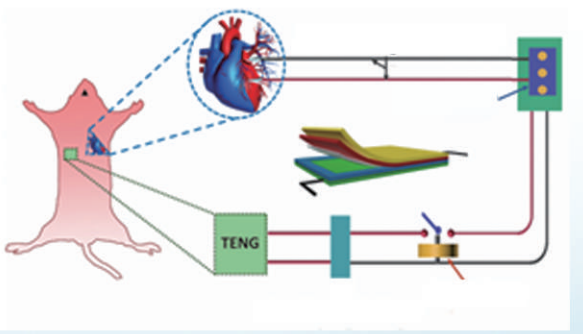
经济日报·中国经济网记者　沈　慧

热点追踪

扑通、扑通、扑通，当你的心脏欢呼跳跃时，只能任其自由狂奔？事实上，我们的身体存有大量可以利用的能量，心跳就是其中一个。如今，利用心跳发电这一看似不可能的梦想，正借助科技的力量照进现实

此次科学家开发的可植入式发电机，可以从心脏搏动中收集足够的能量，并且具有良好的生物相容性和机械耐久性。

动物试验证实，这个可植入系统不仅可以进行心脏起搏，还能纠正窦性心律不齐，从而避免相关死亡。



研究人员认为，这一技术在组织工程、神经再生和干细胞分化等领域或具有广泛应用前景。

前不久，国际顶级学术期刊《自然—通讯》发表一篇论文，介绍了中国科学院北京纳米能源与系统研究所研究员李舟、中国科学院外籍院士王中林及其同事联合研发的一款可植入式自驱动心脏起搏器：无需电池供能，仅从心脏搏动中就能收集足够的能量，确保心脏起搏器工作。这项突破意味着，诸多患者今后不必再为更换电池失效的起搏器遭受多次手术之苦了。

现实：锂电池笨重寿命短

提起心脏起搏器，很多人并不陌生，它是治疗心律失常和心力衰竭等严重心脏疾病的重要医疗设备。然而，包括心脏起搏器在内的众多植入式医疗电子器件都面临着一个尴尬的现实问题——由锂电池供能，笨重坚硬，续航能力有限。

“以普通心脏起搏器为例，电能供给只能维持7至10年。其中，电池占据了起搏器50%以上的体积和60%以上的重量。”李舟说。由此带来的问题绝不仅是换块电池那么简单。由于心脏起搏器位于人体内，一旦电力耗尽，就需要开展手术才能更换。对于患者来说，这不仅是一次痛苦的体验，甚至还会面临机体感染等风险。

延长植入式医疗电子器件使用寿命，同时减少其尺寸和重量——一部分科学家将研究目标对准了拥有更高能量密度的锂电池。那么，能否一劳永逸地解决电池问题呢？

李舟等人另辟蹊径，开始探索研究其他的能量供给方案，比如，纳米发电机。这样的想法并非异想天开。早在2005年，王中林和他的学生就巧妙利用纳米材料的特性，研制出将机械能转化为电能的全球最小发电机——纳米发电机。在王中林的设想中，这一创新可以用来收集人体运动等产生的能量，并将这些能量转化为电能提供给相关电子器件，从而实现用电器件的“自驱动”。

在王中林的启发下，2009年，李舟等人尝试从器官和肌肉的运动中收集生物机械能量。那时，他们制作了基于单根氧化锌纳米线的压电式纳米发电机，并成功收集了大鼠心跳和呼吸运动的能量。

然而，理想很丰满，现实很骨感。“该装置输出的电能较低，无法驱动电子器件。”李舟坦陈。

探索：全新摩擦纳米发电机

探索的脚步没有就此停滞。2012年，在原有研究基础上，王中林率先提出摩擦纳米发电机的概念，其基本工作原理是基于摩擦起电和静电感应的耦合，将微小的机械能转换为电能。

可是学过物理的人都知道，摩擦只产生电压，没有电流，无法利用。既然如此，如何发电？故事要从一次意外发现讲起。2011年，王中林的学生在测试一款纳米发电机时，偶然发现了3至5伏的电压信号。而一般情况下，电压信号仅为1至2伏。这一特殊现象究竟是何缘故？经过反复实验，王中林发现高出来的电压是由摩擦产生的。

随后，王中林在历经一次次失败的实验后又发现，在两种高分子材料相接触的过程中，可以产生电荷分离，再利用静电感应效应，他带领研究团队构建了一个全新的纳米器件——摩擦纳米发电机。这一颠覆性的技术与传统电磁感应发电机相比，无需磁铁的累赘，轻便简捷，输出性能很好，为有效收集机械能提供了可能。

“实验证明，摩擦纳米发电机可以从走路、说话等低频运动中收集能量。而人体本身蕴含着巨大的能量，其中肌肉和肢体运动中的生物机械能最为充沛。”王中林、李舟团队满怀热情投入到基于纳米发电机的植入式和穿戴式自驱动医疗电子器件的研究中。

“让心脏起搏器能够以自驱动的方式运行，这是一件很有意义但也极具挑战性的事。我们的研究重点在于，如何通过自驱动的方式大大延长目前植入式心脏起搏器的使用寿命，甚至实现‘一次植入，终生使用’。”李舟表示。

挑战：植入式器件小型化

2014年，李舟带领团队再接再厉，重新设计制备了可用于生物体内能量收集的植入式摩擦纳米发电机，并将其植入大鼠体内，成功收集并转化了大鼠呼吸运动所产生的能量，再以电能的形式储存起来，最终实现了心脏起搏器原型机的驱动。

向着科学的高峰继续攀登，如今，王中林、李舟等人研制出新一代、真正意义上的自驱动心脏起搏器——共生型心脏起搏器（SPM）。试验显示，目前在每一个心脏运动周期SPM可获得能量0.495μJ（微焦耳），高于心脏起搏器发出一次起搏电脉冲的阈值能量（通常为0.377μJ）。换句话说，SPM在每次心动周期所收集的能量已经超过了起搏人类心脏所需要的能量。

“SPM可实现‘一次心跳，一次起搏’，这对自驱动心脏起搏器迈向临床和产业化具有重要意义。”李舟说，目前，研究团队在细胞层面验证了植入式共生心脏起搏器的生物相容性，之前的研究工作也证实这类器件具备良好的组织相容性和血液相容性。“可以说，器件的生物相容性是非常良好的。”李舟表示。

据介绍，SPM的工作原理是将一个纳米材料组装成的柔性薄片器件贴附在心脏表面，当心脏跳动时，薄片发生形变并产生电能。目前，SPM已在大型动物（猪）体内实现了“全植入”的自驱动运行，并成功开展了大动物模型心律不齐的治疗。

不过，植入式器件的生物安全性仍需要经过长期严谨的研究验证。“此外，虽然器件获得的能量已经达到0.495μJ，但要使其实现更多功能，满足更多应用场景的需求，这些能量仍然不够。”李舟透露，下一步，他们的研究重点是植入式器件的小型化、长效的生物安全性等，预计在5至10年内有望开展临床试验。

换膝还是保膝？

专家支招骨关节炎治疗

本报记者　郭静原

年纪大了，为什么身高开始“缩水”，还容易“O”形腿？这种由骨质疏松引发的关节失衡，最终可能导致膝关节骨性关节炎（KOA）——被称为老年人致残的“头号杀手”。

那么，一旦得了膝关节骨性关节炎，保守治疗无效后，究竟是“换膝”还是“保膝”？在医学界，往往有这两种声音。日前，“保膝”治疗迎来好消息：以中国工程院院士、河北医科大学第三医院院长张英泽为代表的科研团队综合膝关节解剖学、影像学、生物力学和临床研究后发现，胫骨平台差异性沉降在KOA发生和发展过程中具有关键作用，他们在国际上率先提出“膝关节差异性沉降理论”。基于此理论，团队采用腓骨截骨手术和胫骨内侧平衡可吸收垫片植入手术，矫正下肢力线，既解决了患者病痛，又极大避免了医疗卫生资源浪费。

什么是差异性沉降？张英泽解释称：差异性沉降俗称“不均匀沉降”，因胫骨平台内侧承受体重的2/3，外侧承受1/3，加之外侧有几乎不发生骨质疏松的腓骨支撑，所以内侧沉降的速度更快，导致膝内间隙变窄、膝内翻、“O”形腿等情况，最终发展为膝关节骨性关节炎。

“这种不均匀沉降的力学原理就好比盖房子，一半地基是石头，另一半地基是泥土，时间长了，由于泥土承受力度弱，以及外力因素对泥土的影响等，房子就会朝泥土侧倾斜。”张英泽告诉经济日报记者，在体重载荷的作用下，骨质疏松的骨骼会发生微骨折，而脊柱、胫骨近端由于自身和周围结构的特殊性，发生差异沉降最为显著和典型。

那么，骨质疏松是人衰老的正常现象吗？张英泽将人体所含骨量比作登山，“男性在45岁左右、女性在35岁左右，骨量达到顶峰，也是骨头最结实的时候。这之后随着年龄增长，骨量会随着身体内外环境的影响开始减少且不可逆转，从而出现不同程度的骨质疏松，严重时可能发生骨折”。

事实上，骨关节炎早已成为临床上的常见病、多发病。我国2015年发布的《中国骨关节炎防治白皮书》显示，国内约有1.5亿人患病，其中多数为KOA发病人群，且随着人口不断老龄化，膝骨关节炎的发病人群基数会不断扩大。张英泽指出，特别是65岁以上人群，约一半都患有不同程度的骨关节炎。

目前，KOA患者面临两种治疗选择：一种是保守治疗，适用于早期骨关节炎患者，通过非甾体类消炎药或理疗、锻炼等方式缓解疼痛。但疼痛缓解并不是病变逆转，仅是临时止痛，患者千万不要误以为是病情逆转趋好。另一种是手术治疗，又分为保膝治疗与换膝治疗。其中，以全膝置换为代表的换膝手术经过几十年的发展已趋于成熟，但对于非终末期患者而言，过早进行人工关节置换可能面临翻修的风险。而作为后起之秀的保膝手术，在治疗上更能达到确切疗效，越来越受到学术界关注和患者认可。

“换膝手术截骨量多，创伤较大，价格也要比保膝手术贵一倍多；术后恢复艰难漫长，仍有30%左右的人群活动受限，不能完全恢复如初；且置换的金属关节具有一定使用寿命，可能会出现相应的手术并发症。”张英泽介绍，除了终末期骨关节炎患者、关节不稳或韧带松弛、有陈旧性伤病的患者仍需要换膝手术外，以截骨手术为代表的保膝治疗，可以在缓解疼痛的同时完整保留住膝关节的生理结构。“该手术创伤小，能保证患者在短时间内迅速恢复膝关节功能。”

基于大量实践和理论突破，张英泽院士团队通过自主研发“膝关节平衡支撑可吸收垫片”，开创了可吸收材料应用于KOA骨科矫形手术的先河，同时创造性提出采用腓骨近端截骨术和胫骨近端截骨可吸收垫片植入术治疗膝关节骨性关节炎。该技术在我国31个省市自治区270余所医院广泛应用，治疗患者超千例，取得了良好疗效。

“国内每年大约要完成20万例换膝手术，而通过截骨术与可吸收垫片植入术的结合，能够替代目前换膝手术量的一半以上，还将极大减轻患者和社会医疗负担。”但张英泽同时指出，保膝理念在中国的普及程度仍远远不够，“疼痛仍局限在膝关节内侧的患者是最佳‘保膝’人群，膝关节问题千万不要错过最佳治疗时机，越早治疗就越有机会完全治愈”。

张英泽院士办公室外展示的一批由其团队研制的医疗器械。　本报记者　郭静原摄

张英泽院士在讲解膝关节骨性关节炎相关情况。　本报记者　郭静原摄

科谱

小型核反应堆应用趣谈

刘　达　王　茜

核能作为人类历史上的一项伟大发现，应用领域非常广泛，其中最常见的形式就是核能发电——核电提供了全球约10%的电力供应。核能能量密度高，1千克铀235全部裂变释放出的能量相当于2700吨标准煤燃烧释放的能量，并且高效清洁。但我们所熟知的核电站占地面积大，有的相当于上百个足球场大小。其实，还有很多不同类型的核能应用与人们生活相关，“体型”更小的反应堆就是一类。下面就带您从陆、海、空、天不同维度来认识一些有趣的小型核反应堆。

有一类小型核反应堆被称为小型模块化反应堆。所谓模块化，指的是部件模块化建造。模块化出厂的部件可以使反应堆的建设如同搭积木，能大大缩短核设施的建造周期以及检修过程。更小的体积、更快的建设周期以及更简易的运行，使这种反应堆的灵活性得到极大提高。按照需要，这种小型反应堆可快速部署在偏远地区、海岛等地，提供电力、取暖、海水淡化、制氢等用途。

当反应堆的体积缩小至一定程度，还可用大型车载或船载，以实现移动化。其中最典型的是核动力航母与核动力潜艇上的核动力堆，核能提供的持久强劲动力可使其航行持续能力成数量级增加。1954年，世界上第一艘核动力潜艇“鹦鹉螺”号建成，将凡尔纳的幻想变为现实，开启了核动力舰船发展的新纪元。如今，舰船小型反应堆的发展步入多功能民用时代，如俄罗斯KLT-40s型船舶用小型堆，不仅可为船舶提供动力、电力供应，还可进行海水淡化，甚至破冰等。其中，仅破冰这一项便极具商业前景。如果北极航路能够打通，船运航程将大为缩短，对我国发展具有重要战略意义。

对外展出的国产核动力航母模型。（资料图片）

在空、天领域的应用中，小型核反应堆同样大显身手。

上世纪的美国、苏联军备竞赛，将小型核反应堆的应用拓展到了核动力飞机。当时，美国改装了当时世界上最大的B36战略轰炸机，而苏联改装了图95M大型轰炸机，两者都装载了核动力装置，并进行了相应实验。但因实战性价比不足以及技术问题，该类研究没有深入进行。

而在航天领域，人类正在对小型化的核反应堆开展更多范围、更深层面的应用研究。首先是太空核电源。航天器上的电源多采用太阳能或化学能，无法完全满足深空探索的需要，只有核能可以胜任此任务。最常见的太空核电源为同位素（如钚-238）热/电源，以及核反应堆电源。同位素热/电源形式多样，都是通过衰变放热转换或产生电能。而空间反应堆电源较早的类型有美国的SNAP-10A和苏联的BUK和TOPAZ。其中，较成功的BUK反应堆电源采用铀钼快堆，电功率约为3千瓦，使用液态金属冷却。1970年至1988年间，苏联共发射了32个携带BUK的海洋监视卫星。2012年，美国洛斯阿拉莫斯实验室提出了Kilopower项目，用以开发新一代更加小型的空间反应堆。Kilopower采用铀-235堆芯，利用高效斯特林发动机转换输出千瓦级别电力，体积仅有纸篓大小，但几台Kilopower即可为一座空间站提供所需电力供给。

我们的目标是星辰大海，探索浩瀚宇宙，进入无垠深空，这其中少不了核动力推进器的一席之地。早期核动力推进以核热推进为主，利用核裂变释放能量加热工质，加热的工质高速喷出喷管产生推动力，如美国早期的NERVA，以及苏联的RD-0410发动机。但由于化学火箭可满足当时需求，热核推进技术一度得到搁置。

进入21世纪，为推进载人登陆火星任务，美国、欧盟及俄罗斯开展了大功率电推进技术研究，推出了核动力搭配电推进系统。它的工作原理是，利用核反应堆及热电转换系统产生电能，使工质电离化，产生带电粒子，在电场或电磁场作用下高速喷出喷管，产生反推力。与当前化学推进器相比，它的比冲提高了1个数量级以上。可见，核动力推进将帮助人类真正揭开星际远征时代。

此外，还有为人类健康保驾护航的医用同位素生产堆、各类研究堆以及探索阶段的聚变堆等。随着时代发展以及科技工作者们的不懈努力，相信核能将在陆、海、空、天有更为广阔的应用，更好地为人类服务。

（作者系中国核科技信息与经济研究院工程师）

本版编辑　郎　冰
联系邮箱　jjrbxzh@163.com