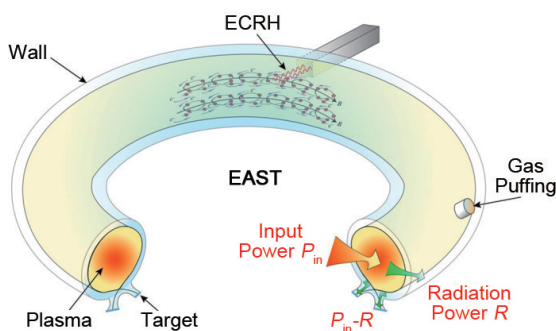




EAST 高密度实验示意

(图片来源:中国科学院合肥物质科学研究院
等离子体物理研究所官网)

能量增益的最有效路径之一。但在过去数10年实验中,托卡马克普遍受到“密度极限”的制约:一旦等离子体密度超过某一临界值,边界区不稳定性迅速增强,最终引发等离子体破裂,威胁装置安全运行。

长期以来,国际聚变界通常采用经验性的“格林沃尔德密度极限”来描述这一约束,但该定律缺乏明确的物理机理解释。针对这一关键瓶颈,研究团队提出并发展了边界等离子体与壁相互作用自组织(PWSO)理论模型。该模型指出,密度极限的本质并非单纯的磁流体不稳定性,而是一个涉及“热-辐射”反馈机制的系统性失稳。当等离子体边缘的杂质辐射增长速度超过了输入功率的补充速度,系统就会失去平衡,引发辐射塌缩,表现为传统意义上的密度极限。

更为关键的是,该理论预测在托卡马克的运行状态空间中,除传统的“密度受限区”外,还存在一个此前未被实验证实的“密度自由区”。进入该区域的前提在于有效抑制边界杂质的产生,使辐射反馈回路被切断,从而使

等离子体密度不再受经验极限约束。

依托 EAST 装置全钨偏滤器和全金属壁结构的硬件优势,研究团队在实验中精准调控边界等离子体条件。通过电子回旋共振加热与高预充气压力协同启动等手段,成功降低了偏滤器靶板附近的等离子体温度,使其低于钨材料发生物理溅射的能量阈值,从源头上抑制了杂质进入等离子体。实验观测到的等离子体行为与 PWSO 理论的预测高度一致。

这一突破意味着,未来的聚变堆设计有望彻底摆脱“密度紧箍咒”。通过优化启动策略和壁条件控制,人类可以在不主动注入杂质的情况下,实现高密度、高增益的稳态运行。

(综合:《Science Advances》、中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所、封面新闻网)

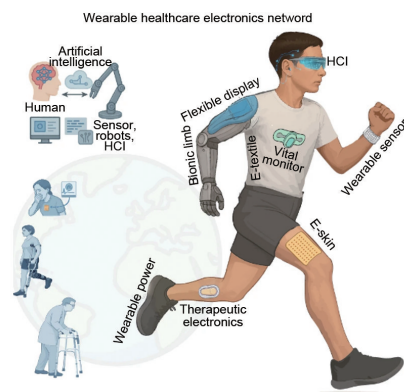
电路板正在拖累可穿戴医疗电子的绿色前景

可穿戴医疗电子正迅速从“可选装备”变成数字医疗体系的重要基础设施。从连续血糖监测、心电监护到可穿戴超声,这类设备以高依从性和实时监测能力,正在重塑慢病管理和健康干预模式。然而,在其快速普及的背后,环境代价长期被忽视。芝加哥大学田博之团队与康奈尔大

学尤峰崎团队发现源于集成电路制造中使用的关键金属与高能耗工艺是主要污染源。2025年12月31日,相关研究成果发表于《Nature》。

研究团队针对血糖监测仪、心电监测仪、血压监测仪和掌上超声贴片4种代表性设备进行从摇篮到坟墓的分析。通过构建高分辨率的数据集,研究揭示单台设备的全球变暖潜值(GWP)在1.1~6.1 kg CO₂当量之间。尽管单体排放量显著低于传统的智能手机或笔记本电脑,但由于这类设备的使用寿命极短(通常仅为14天至2年),其年化环境足迹在规模化应用后极具挑战性。

在全球消费趋势预测中,研究指出到2050年,此类设备的全球年消费量预计将增长42倍,接近20亿台。届时,由此产生的年度温室气体排放量在温和情景下将达到3.4 Mt CO₂当量,这已接近当前全球智能手表行业的碳排放水平。此外,随之而来的电子垃圾处理和生态毒性问题也将日益凸显。



可穿戴医疗电子网络可实现连续生理监测、人机交互和实时医疗支持

(图片来源:《Nature》)

值得注意的是,该研究推翻了传统可持续性研究中对塑料污染的过度强调。数据分析表明,采用可回收或生物降解塑料对降低总环境影响的贡献仅为1.8%~5.4%。真正的环境足迹“热点”在于电子电路系统:以血糖监测仪为例,其柔性印刷电路板(FPCB)组件贡献了约95.9%的碳足迹和超过97%的毒性影响。其中,集成电路制造以及黄金(Au)等关键金属的开采与提炼,因其极高的能耗和对水资源的污染风险,成为了主要的生态负担来源。

针对上述痛点,研究提出了系统层面的缓解对策。通过模块化设计,将长寿命的控制电路与短寿命的传感器或电池部件分离,实现控制模块的重复利用,可使每使用周期的碳排放降低54.6%~62.4%。同时,在不损害性能的前提下,使用银、铜或导电高分子替代黄金等关键金属,可将全球变暖潜值降低约30%,并将生态毒性指标降低60%以上。

(来源:《Nature》)

“仿病毒”纳米系统攻克骨关节炎药物递送难题

骨关节炎影响着全球约5亿人,是导致中老年人疼痛和运动障碍的主要疾病之一。由于关节软骨致密、血管稀少,药物难以有效进入病变软骨细胞,现有治疗多停留在止痛和消炎层面,尚无法逆转疾病进展。上海交通大学医学院附属新华医院苏佳灿团队联合新加坡国立大学和上海大学的研究人员,模仿病毒的感染策

略,开发出一种能够精准递送药物到关节炎病变细胞的纳米系统,为骨关节炎靶向治疗提供了新思路。2025年12月29日,相关研究成果发表于《Nature Nanotechnology》。

研究灵感源自病毒的“入侵本领”。病毒虽然是病原体,但它们在亿万年的进化中练就了一身找到并进入特定细胞的本领,比如HIV病毒、流感病毒等,它们表面的糖蛋白就像一把把特制的钥匙,不仅能识别并黏附在目标细胞表面,还能在特定信号触发下改变形状,打开细胞大门。

受此启发,研究团队设计了一种“仿病毒糖蛋白肽”(CMP),这个只有几十个氨基酸的小分子,却集成了病毒感染的2个关键功能:一是能够黏附在软骨基质和细胞表面的II型胶原上,就像病毒先“抓住”宿主细胞;二是能被病变细胞特有的MMP13酶激活,露出细胞穿透序列,实现精准进入。

研究将CMP修饰在载药胶束表面,构建出直径约16 nm的纳米

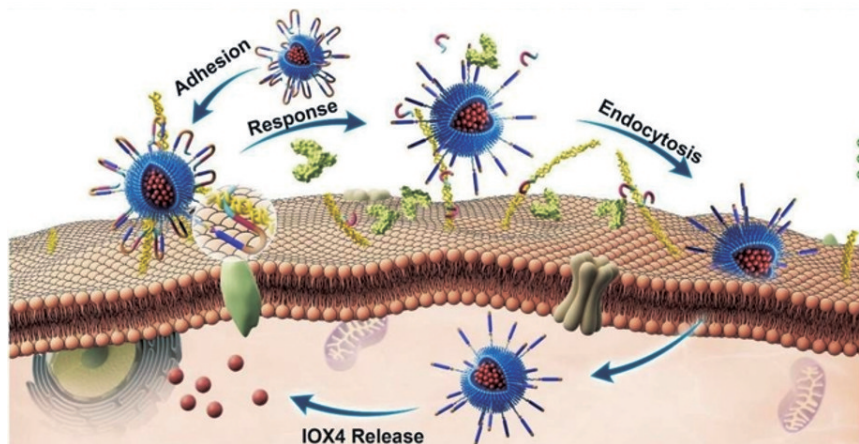
递送系统。这一尺度既足以穿透软骨高度致密的细胞外基质,又避免被机体快速清除。在骨关节炎小鼠模型中,该系统在关节腔内的滞留时间显著延长,病变软骨细胞对纳米颗粒的摄取效率提升至未修饰颗粒的4倍以上;在更接近人体生理条件的羊骨关节炎模型中,治疗组的软骨退化评分明显下降,关节结构与功能均得到改善。

作为验证模型,团队选用了HIF-1 α 稳定剂IOX4。该药物可增强软骨细胞在低氧环境中的适应能力,促进II型胶原和蛋白聚糖等关键基质成分的合成,同时抑制软骨细胞异常分化。实验结果显示,通过仿病毒纳米系统递送后,IOX4的治疗效应得到显著放大。

此外,该平台还具有很强的通用性。除了IOX4,理论上任何需要进入病变软骨细胞发挥作用的药物,都可以通过这个系统递送。这为开发新一代骨关节炎治疗药物开辟了广阔前景。

(综合:《Nature Nanotechnology》

《新民晚报》、澎湃新闻)



新型纳米递送系统用于治疗骨关节炎的科学机制

(图片来源:上官新闻网)