

神奇的医用水凝胶

主讲人：程悦铭 | 2026年7月

**Stable P-S
hydrogel in water**



1x Speed

目录 CONTENTS

01

神奇的“水魔法”

走进水凝胶材料，揭开这种材料的神秘面纱和优异性能

02

材料的“前世今生”

放眼中外，了解这种神奇材料的制备与研究历程

03

凝胶的“建造之路”

从分子设计、单体选择到交联反应的全过程出发，揭秘凝胶网络的构建

04

守护健康的“多面手”

盘点水凝胶在智能药物递送载体、功能性伤口敷料，组织工程支架等领域的应用

05

水凝胶的无限可能

展望刺激响应型智能凝胶、仿生水凝胶及3D生物打印技术，探索精准医疗的未来图景

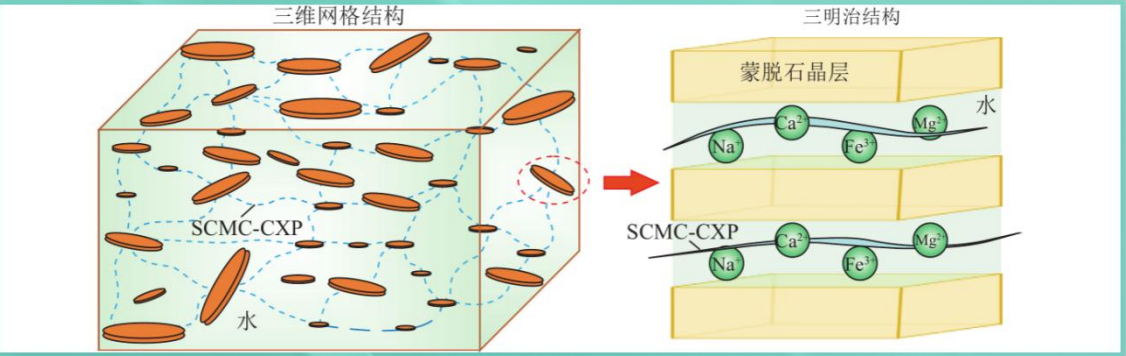
01

神奇的“水魔法”

什么是医用水凝胶？

什么是水凝胶

水凝胶（Hydrogel）是一种由高分子聚合物构成的三维网络结构材料。它就像一张由无数分子丝线编织成的“渔网”，能够锁住大量水分却不溶于水，是连接材料科学与生物医学的关键桥梁。



微观视角：分子级的“储水海绵”

水凝胶的微观结构：聚合物链相互缠绕形成连续的三维网格，水分子被稳定包裹在网格间隙中。这种独特的结构使其兼具固体的形态和液体的含水量，完美模拟人体软组织特性。



三维网络骨架

由高分子链通过物理或化学交联形成的连续网状结构，如同细密的分子渔网，是水凝胶保持形状的物理基础。



超高含水量

含水量通常超过90%，甚至接近人体组织的含水量。这赋予了它极佳的柔韧性和生物相容性，触感温润亲肤。



结构稳定性

虽然充满水分，但由于交联作用，水凝胶在水中只会适度溶胀而不会溶解溃散，确保了其在生物体内应用的结构完整性。

水凝胶的“大家族”

天然高分子水凝胶



源于自然的馈赠

取材于海藻、胶原蛋白等天然生物物质，是大自然赋予的原生智慧结晶，拥有与生俱来的生物亲和力。

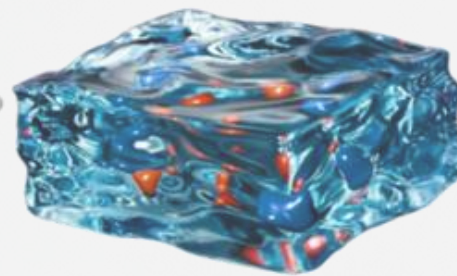
☑生物亲和度高

生物相容性极佳，与人体组织和细胞的亲和力强，几乎不会引发免疫排斥反应，安全可靠。

⚠ 力学性能受限

机械强度相对较弱，结构稳定性较差，容易受温度、pH值等环境因素影响而发生降解或形变。

合成高分子水凝胶



人工智造的精密

通过化学合成技术（如PVA、聚丙烯酰胺等）制备，实现分子链结构与性能的精确设计与调控。

☑性能可控且稳定

力学强度高、化学稳定性好，可根据应用场景定制化设计，满足生物医药、工业等领域的严苛需求。

⚠ 生物交互性不足

缺乏与人体细胞互动的特定生物信号，表面活性较低，需通过改性来提升其生物相容性与细胞黏附性。

水凝胶的独特性质——高吸水与保水性

水凝胶凭借卓越的吸水与保水特性，为伤口或移植细胞构建了持续湿润的微环境。这是组织修复的核心基础——干燥会导致细胞脱水坏死，而恒定的湿润环境正是细胞增殖、迁移与组织再生的绝佳场所。



强效渗液管理

主动吸收并锁住伤口渗出液，快速降低创面湿度，有效防止积液引发的感染风险，保持创面洁净。



仿生湿性愈合

模拟人体组织液微环境，维持创面恒定湿润，加速上皮细胞爬行与新生血管形成，缩短愈合周期。



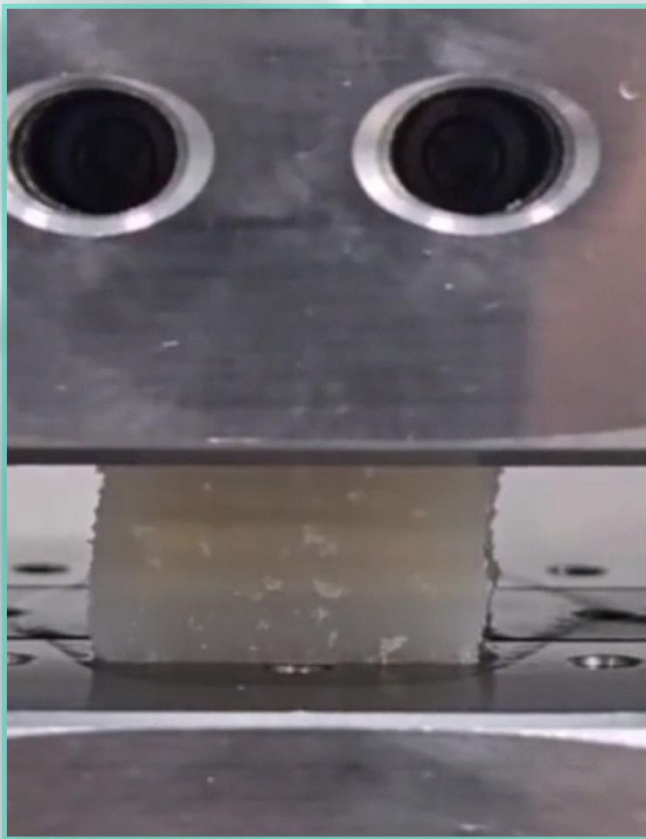
无创无粘连设计

与创面及新生肉芽组织无粘连，换药时可温和剥离，彻底避免机械性二次损伤，极大缓解患者换药时的痛苦与心理压力，提升护理体验。



高弹性与透气性完美适配人体活动，为创面提供全天候的保护与修复环境。

水凝胶的独特性质——可调控的力学性能



水凝胶材料的应力应变实验过程

通过调控水凝胶网络的交联密度或引入纳米增强体，科学家可精确控制其力学参数，实现从柔软的脂肪组织到坚韧的承重骨骼的全方位仿生匹配。

■ 力学性能的“跨度级”调控



柔软态 · 类软组织

强度达几千帕(kPa)，触感与人体脂肪、脑组织高度相似，完美适配柔性组织填充与修复。



坚韧态 · 类硬组织

强度提升至几十兆帕(MPa)，媲美软骨甚至骨骼的机械强度，可满足人体承重与支撑的生理需求。

■ 精准匹配的临床修复应用



皮肤修复

超柔水凝胶敷料，保持创面湿润，促进上皮细胞再生。



软骨修复

高弹性支架材料，填充关节缺损，恢复软骨缓冲功能。



骨骼修复

高强度复合水凝胶，作为骨组织工程支架，诱导骨再生

02

材料的“前世今生”

水凝胶的研究历程是怎样的？

探索历程：厨房里的伟大发明



科学里程碑：水凝胶的诞生

1954年，奥托合成了第一种具有优良生物相容性的合成水凝胶——pHEMA（聚羟乙基甲基丙烯酸甲酯）。这一发现不仅催生了现代软质隐形眼镜，更为生物医药材料、组织工程等领域开辟了全新道路。



火车上的偶然灵感

50年代，他在火车上偶遇眼科医生，得知硬塑料镜片给患者带来的痛苦。这份同理心，点燃了他研发舒适软质材料的决心。



逆境中的科研坚守

因政治原因，他被禁止使用专业实验室，但他并没有屈服，而是将实验室“搬”到了自家厨房，开启了一场非典型的科学探索。



厨房里的伟大突破

1961年，他用女儿的玩具零件、旧唱机马达和厨房器具搭建了简易搅拌装置，成功制造出世界上第一片软质隐形眼镜。

探索历程：我国的早期研究

卓仁禧 院士 (1931-2019)

福建厦门人

01 领域先行者

20世纪80年代初，率先将研究方向转向生物医用材料这一新兴领域，是国内该方向的早期开拓者。

02 材料拓荒者

国内最早研究温度敏感性水凝胶的学者之一，深入解析其凝胶相变机理，为后续智能水凝胶的应用奠定了关键技术基础。



探索历程：中国力量的辉煌成就

进入21世纪，中国在水凝胶领域异军突起，科研团队从自然机理与前沿物理出发，攻克多项技术难关，实现了从生物医学材料到柔性电子器件的跨领域突破，成果跻身世界前列。



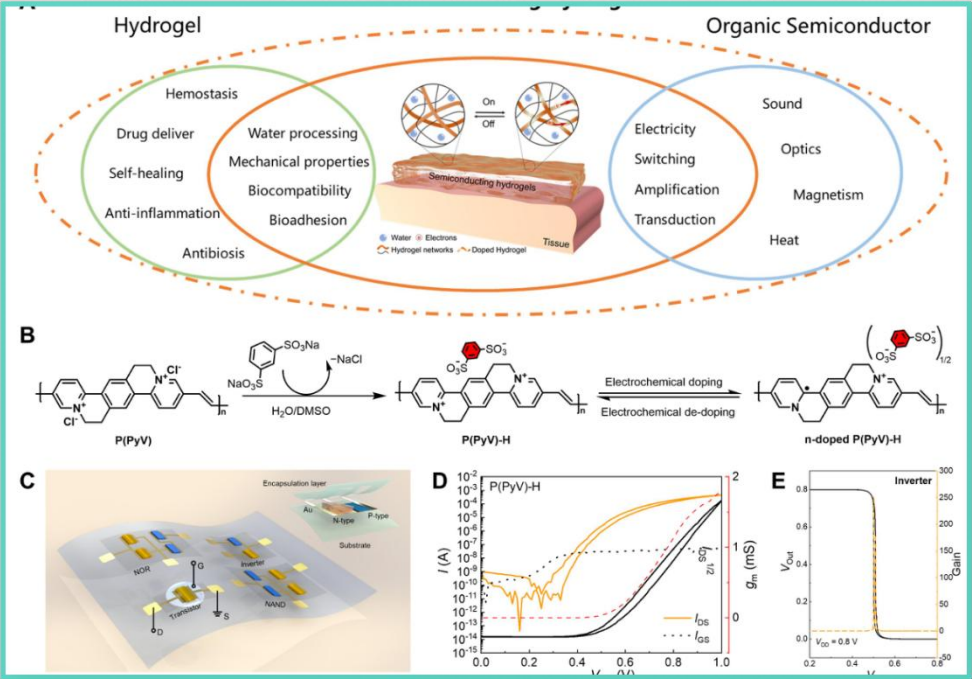
俞书宏院士 · 仿生医用材料

受“藕断丝连”的自然现象启发，研发出仿莲丝细菌纤维素水凝胶纤维。这种新材料兼具高韧性、可降解性与药物负载能力，已成功应用于新型手术缝线，实现了医学缝合材料的革新。



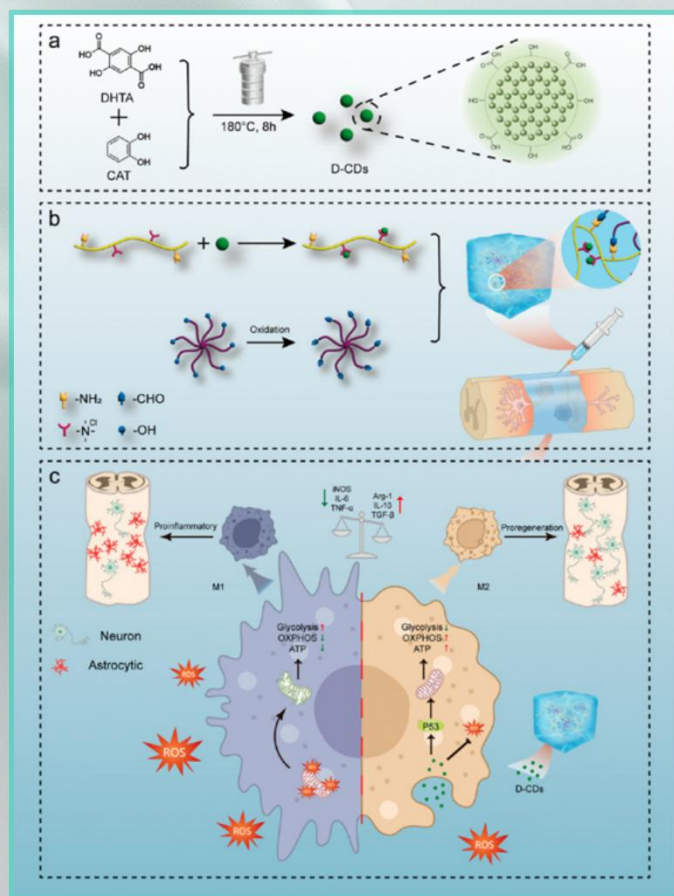
雷霆研究员 · 半导体水凝胶

首次制备出具有高迁移率的半导体水凝胶，打破了水凝胶的绝缘属性。该材料可直接贴附皮肤放大微弱的生物电信号，为“无感”可穿戴健康监测、脑机接口及柔性电子设备提供了核心材料支撑。



半导体水凝胶的分子设计、微观结构与生物电子学应用场景，展现了材料科学与生命科学的深度融合。

探索历程：中国力量的创新浪潮



01 施剑林院士 · 中科院/同济大学

首创无金属碳点复合水凝胶，可高效清除活性氧，并调控巨噬细胞从“损伤型”向“修复型”转化，为脊髓损伤等神经修复难题提供了全新的再生治疗策略。

02 危岩教授 · 清华大学

利用廉价的虾蟹壳提取物（壳聚糖）制备出自愈型水凝胶，实现药物的长效缓释与病灶靶向递送，极大降低了生物医用材料的应用成本。

探索历程：会“呼吸”的VPS水凝胶

联合研发：华南理工大学 × 麻省理工学院 (MIT) —— 跨学科的前沿科研合作



仿生灵感：肺部结构

复刻人体肺部的高效气体交换机制，构建仿生气道网络。这一设计赋予了水凝胶如同生物组织般的“呼吸”能力，突破了传统合成材料的生理兼容性局限。



核心工艺：VPS技术

利用“粘弹性相分离”工艺，在凝胶内部形成微米级的、相互贯通的稳定气道。这一微观结构确保了气体能够在材料内部自由、高效地传输，是实现高透气性的关键。



突破瓶颈：气水共存

首次实现了“高含水量”与“高透气性”的完美统一。解决了传统水凝胶因致密结构导致的缺氧问题，从根本上避免了皮肤长时间接触后的“闷感”与刺激。



性能飞跃：透氧性提升 10 倍

氧气渗透率远超传统水凝胶及商用透氧材料，这一指标的提升意味着设备可以真正实现长时间、无负担的贴身佩戴，不再受限于材料的物理性能。



广阔前景：重塑可穿戴与医疗

可应用于连续佩戴10天以上的动态心电监测贴片、加速愈合的智能伤口敷料以及高舒适的隐形眼镜，为柔性电子设备带来革命性的用户体验。

VPS
hydrogel

Non-porous
hydrogel

Porous
hydrogel

会呼吸的医用水凝胶

13:46:38 ● 27 °C 80 °F

600x
Day 1

03

凝胶的“建造之路”

水凝胶的制造过程

水凝胶如何制造？

01 / 从原料到材料：物理与化学交联

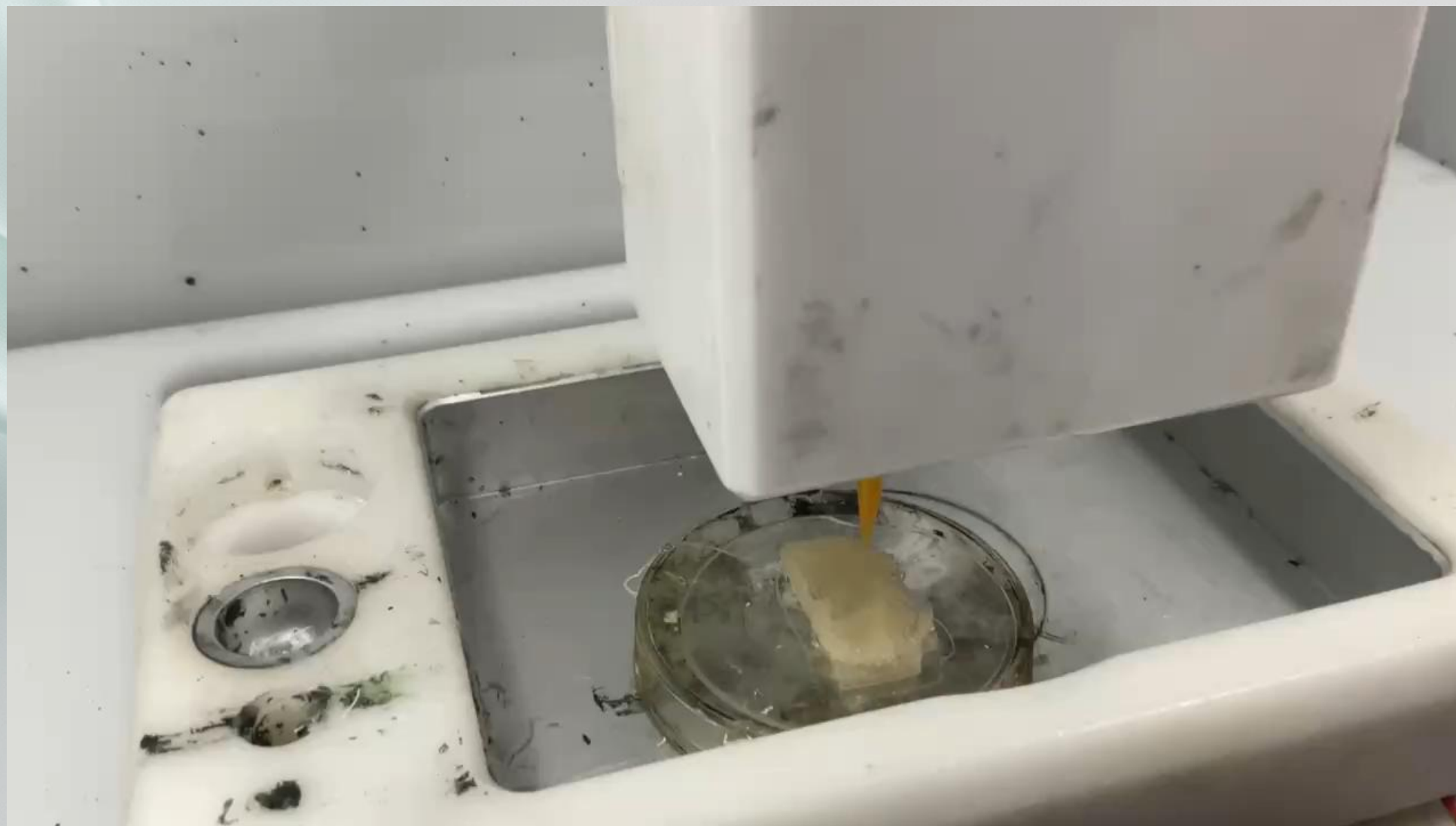
物理交联：依靠氢键、离子键等弱相互作用，工艺温和、不损伤细胞活性，但力学强度较低。

化学交联：通过共价键反应形成稳定网络，结构坚固、抗降解性强，是制备高强度水凝胶的核心方式。

02 / 从材料到器件：3D打印技术

将水凝胶作为“生物墨水”，利用计算机控制精密喷头，像“立体裱花”一样层层堆叠，精准构建复杂的三维人体组织。





04

守护健康的“多面手”

水凝胶的医学应用

守护健康的“多面手”——伤口护理

临床痛点：难愈性伤口

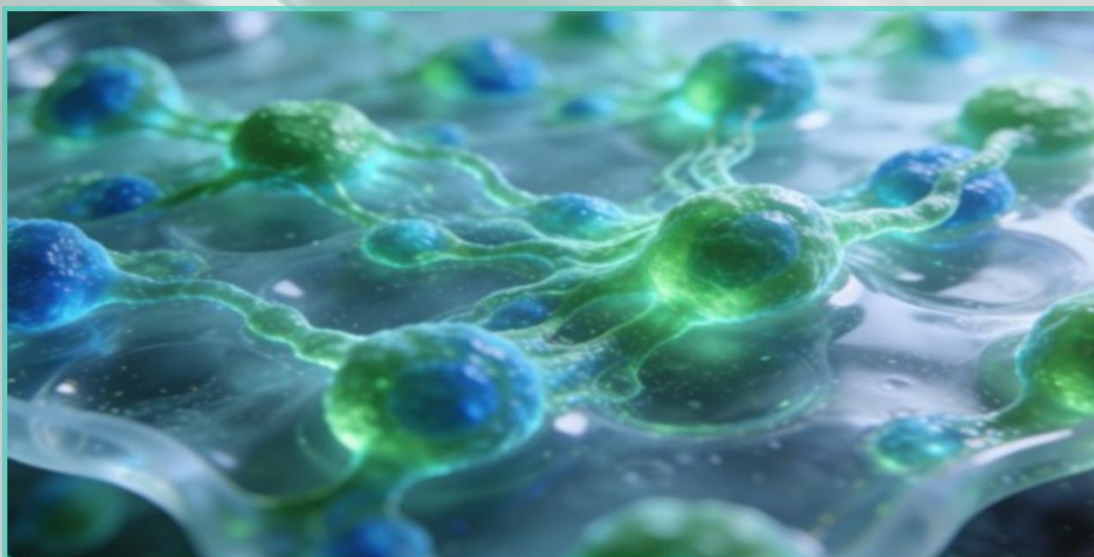
糖尿病患者因血管神经病变，创面愈合极缓慢，易恶化成慢性溃疡，传统敷料难以兼顾渗液管理与微环境修复。

创新：可喷涂水凝胶海绵

智能水凝胶可原位喷涂成型，高效吸收渗液并维持创面湿润，为细胞增殖提供理想的修复环境。

成效：愈合率显著提高

糖尿病大鼠模型实验显示，创面愈合率显著提升，并成功重建了功能性的神经血管微环境，验证了材料的优异性能。



守护健康的“多面手”——药物递送



水凝胶如同微型“药物仓库”，通过包裹技术实现药物的缓慢释放。这种特性不仅能提升药物的生物利用度，还能减少给药频率，为现代精准医疗提供了安全高效的递送方案。



口服药物：穿越胃酸的“保护盾”

有效包裹药物活性成分，抵御胃部强酸环境的破坏，确保药物完整抵达肠道后再释放，显著提升药效吸收。



局部给药：长效稳定的“补给站”

广泛应用于眼药水、皮肤贴剂等场景，使药物在作用部位长时间维持有效浓度，减少用药次数，降低全身副作用。



靶向治疗：精准杀敌的“制导器”

利用pH敏感型水凝胶，仅在酸性的肿瘤微环境中释放化疗药物，实现对癌细胞的精准打击，保护正常组织。

守护健康的“多面手”——智能穿戴设备



仿生设计，突破传统

受章鱼吸盘与蜗牛黏液启发，高耦合复合水凝胶“电子皮肤”，实现与人体皮肤的无缝长效贴合。



超强韧性，随心而动

具备优异的粘附性与拉伸能力，完美适配人体关节的大幅度高频次运动。



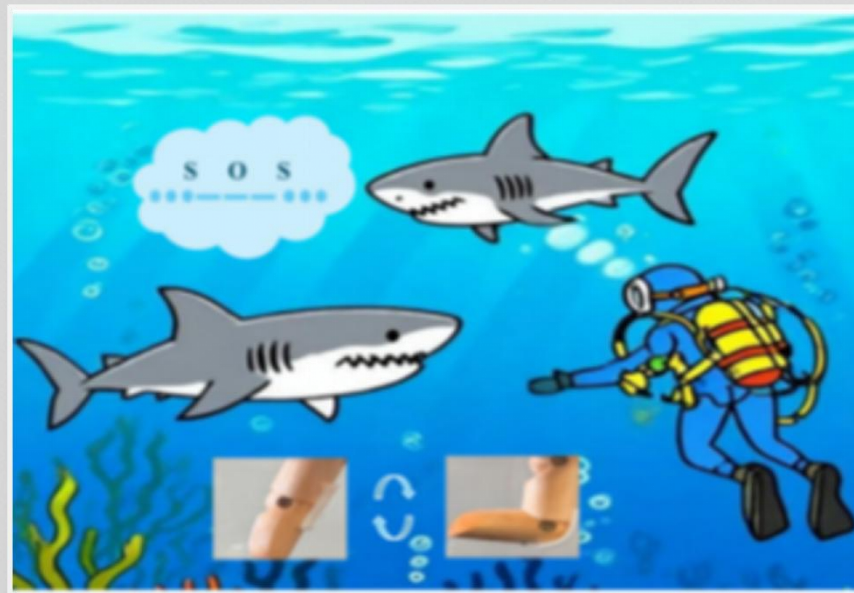
精准捕捉，智能识别

实时监测心电、体温及肢体运动信号，手势识别准确率高，数据采集稳定可靠。



医疗赋能，康复新解

广泛应用于心血管疾病预警、脑卒中后手功能康复训练，为智慧医疗与康复提供全新解决方案。



未来展望：

这种柔性电子皮肤有望成为连接人体与数字世界的“桥梁”，在远程医疗、人机交互等领域释放巨大潜力。



05

水凝胶的无限可能

水凝胶的无限可能

05 未来已来——水凝胶的无限可能



4D打印：动态形变

突破传统3D打印的静态局限，融入“时间”维度。水凝胶结构在特定刺激（如温度、pH值）下，可随时间自主改变形状与功能，为生物制造提供动态适配的全新可能。



AI赋能：智能研发

利用人工智能算法进行高通量模拟与筛选，将新材料研发周期从数年缩短至数月。精准预测分子结构与性能，实现从“经验试错”到“智能设计”的跨越式升级。



跨界融合：重塑边界

打破材料科学、生物医学与工程技术的壁垒，水凝胶正成为连接人工合成与生命系统的桥梁，在柔性电子、组织工程及环境科学等领域展现出颠覆性的应用潜力。

未来展望：从科幻到现实的三大变革



按需再生器官

构建仿生水凝胶支架，引导干细胞生长分化，实现受损组织原位修复，有望彻底解决器官移植供体短缺的医学难题。



个性化药物递送

利用环境响应性实现药物的靶向输送与智能控释，提高药物利用率，同时大幅降低对健康细胞的毒副作用。



智能仿生机器人

研发柔性水凝胶驱动器，制造可在人体内无创作业的微型机器人，用于精准诊疗、体内环境监测及微创手术。



谢谢大家

THANKS FOR WATCHING
