

OBE理念下生物材料科研成果向实践教学的沉浸式转化研究与实践——以微针的制备为例

刘爽 景文杰 张子涵 王彬璇 许丰瑞*

宝鸡文理学院 化学与材料工程学院, 中国·陕西 宝鸡 721013

摘要: 针对工科人才培养过程中理论与实践脱节、学生创新能力薄弱等问题, 本研究以成果导向教育 (Outcomes-Based Education, OBE) 为核心, 坚持“以终为始、量化可测、分层递进”的原则, 将微针相关科研成果拆解为基础—进阶—创新三级实践任务, 搭建起“梯度化拆解—课程化绑定—沉浸式场景—资源化保障—动态化评价”一体化转化体系, 明确各学段可衡量能力目标与递进关系, 推动科研资源与实践教学深度融合, 为生物材料类课程的科研成果教学转化提供可落实、可复刻的实施范例。

关键词: OBE 理念; 生物材料; 科研成果转化; 实践教学; 能力分层达成

Research and Practice on Immersive Transformation of Biomaterial Scientific Research Achievements into Practical Teaching under the OBE Concept: Taking Microneedle Preparation as an Example

Liu Shuang, Jing Wenjie, Zhang Zihan, Wang Binxuan, Xu Fengrui*

College of Chemistry and Materials Engineering, Baoji University of Arts and Sciences, China Shaanxi Baoji 721013

Abstract: Aiming at the problems such as the disconnection between theory and practice and the weak innovative ability of students in the training of engineering talents, this study takes Outcomes-Based Education (OBE) as the core and adheres to the principles of starting from the end, quantifiable and measurable, and hierarchical progression. The scientific research achievements related to microneedles are decomposed into three-level practical tasks: basic, advanced and innovative. An integrated transformation system of gradient decomposition, curriculum integration, immersive scenario, resource support and dynamic evaluation is constructed. The measurable competency objectives and progressive relationship at each learning stage are clarified, which promotes the in-depth integration of scientific research resources and practical teaching. It provides an implementable and replicable example for the transformation of scientific research achievements into practical teaching in biomaterial-related courses.

Keywords: OBE concept; Biomaterials; Transformation of scientific research achievements; Practical teaching; Hierarchical achievement of competency.

0 引言

在高等教育改革以及工程教育认证的背景下, 工科人才培养要摒弃“重理论、轻实践”的做法, 转变为“能力为本、成果导向”的核心逻辑。成果导向教育 (Outcomes-Based Education, OBE) 是国际上普遍接受的一种工程教育理念, 它主张从目标出发, 即首先确定学生应具备怎样的能力目标, 再制定相应的教学计划并且不断改进提高其教学质量。这对目前存在的理论与实践相脱节、学生工程能力不足等现象具有重要的指导意义。

生物材料是化学、材料及生物医学交叉学科的研究热点, 在研究内容上涵盖材料合成、结构设计、性能表征以

及功能验证等, 均具备成为优秀教学案例的基础条件。但目前大多数高校生物材料类课程仍以讲授为主, 实验部分仅限于基础仪器使用, 未能达到 OBE 要求的可量化能力成果, 也未将最新的研究成果融入到学生的课堂内容中, 从而使学生缺乏将理论知识转化为解决实际问题的能力。

本研究以微针制备作为载体, 以 OBE 量化能力为目标, 打造科研成果沉浸式转化, 在教学中加入分层任务设计、课程融合、真实的科研环境模拟以及资源共享并形成一个多层次评估的闭环, 达成“科研反哺教学, 教学支持创新”的目的, 对生物及材料相关专业学生的培养具有重要意义。

1 梯度化内容拆解策略：匹配学生能力进阶需求

微针制备的研究课题可以分为基础—进阶—创新三个学段，分别对应不同实践任务，设定每个学段具体可量化可考核的能力目标，使成果转化与学生的成长同步提升。

基础层针对低年级学生，提取科研中的常规基础操作。例如 Li 等人采用两步浇铸法制备盐酸利多卡因 (lidocaine hydrochloride, Lido) 载药口腔麻醉可溶解微针，将聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane, PDMS) 倒入金属母模中，固化后脱模获得阴性模型，聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpyrrolidone, PVP) 与聚乙烯醇 (polyvinyl alcohol, PVA) 以 4 : 1 溶解于 70 °C 去离子水中，后加入 0.1 mg/mL Lido 溶液，得到质量分数为 25% 的载药针体溶液，依次取 60 μ L Lido 溶液，60 μ L 载药针体溶液滴加到阴性模型上，抽真空 10 min 使溶液完全填充至空腔并吸取多余的液体，再将 0.12 mg/mL PVA 和 0.01 mg/mL 壳聚糖 (chitosan, CS) 混合液滴加至基层层，室温下避免光照过夜干燥后脱模保存 (如图 1A) [1]。这些基础实验操作作为低年级学生验证性任务，学生需熟练掌握移液枪 (精度误差不超过 $\pm 5\%$) 与实验安全操作等基本技能，在配套相应的技术原理手册，用简单易懂的语言学习实验原理，联系课堂所学知识，达到 OBE 基本操作能力成果；进阶层面向中高年级学生，则选择科研子项目，如微针贴片的力学性能、载药微针体外药物释放以及体内伤口愈合等让中高年级学生参与全流程实践，学生需独立完成“实验设计—样品准备—数据分析—结果解读”，准确识别实验误差来源并分析成因 (例如仪器操作误差、样本制备偏差等)，培养数据分析思维与问题解决能力，完成符合科研规范的数据分析报告，从而匹配 OBE 数据分析能力成果要求 [2]；创新层面向高年级学生及开放性课题，围绕科研待优化方向开展自主设计。如研发“圣诞树分层”等非传统结构 (如图 1B)，以此提升药物负载量和深层组织递送效率 [3]。对于材料与功能的优化，使用可降解聚合物，例如聚乳酸 (Polylactic Acid, PLA) 等，实现针体在体内的自然降解，避免二次取出的创伤 [4]。也可采用构建仿生结构的方法，例如章鱼吸盘、鲨鱼牙齿微针贴片等 (如图 1C、1D)，章鱼吸盘微针贴片有效增强与胰腺组织的附着力，防止脱落，并将药物精准作用于肿瘤区域，有效治疗胰腺癌，鲨鱼牙齿微针贴片则模仿牙齿的尖锐结构，更易穿透皮肤角质层，将药物递送到真皮层，提高递送效率与伤口愈合速度 [5]。学校还开设了其他开放性课题，学生独立动手做实

验或参与部分科研工作，感受真实科研环境中的合作过程、进度安排以及结果反馈，实现 OBE 科研创新能力成果目标。

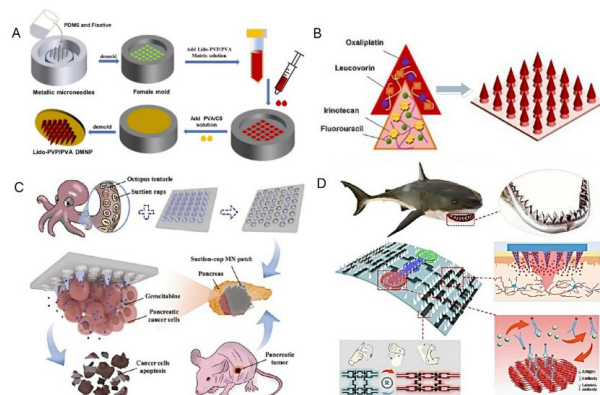


图1 (A) 制备溶解微针的工艺流程图；(B) 受圣诞树启发的双层微针载药；(C) 该图展示了章鱼吸盘的微针设计，用于输送抗肿瘤药物；(D) 该示意图展示了鲨鱼牙齿的微针设计，用于伤口治疗

2 课程深度绑定策略：实现“科研—教学”内容融合

将拆分后的科研成果模块与现有课程体系有效衔接，在课程知识点上链接科研案例、用科研案例补充课程内容，防止科研成果转化“碎片化”，实现“理论输入—实践加强—学以致用”的闭环教学。

在《高分子化学》《仪器分析技术》等理论课程中，将科研成果转化为课程案例。例如，讲解“高分子材料合成与功能调控”章节时，可引入“时空响应级联双层微针”作为核心案例，通过“材料选择—结构设计—性能优化”的逻辑链拆解分析其材料选择，如单体选择与高分子基体功能匹配分析时，可通过对比微针针尖层甲基丙烯酸明胶 (Gelatin Methacryloyl, GelMA) 与基层层水溶性透明质酸 (Hyaluronic Acid, HA) 的高分子特性，来分辨 GelMA 与 HA 作为针尖层材料的差异：针尖采用仅在糖尿病伤口高表达的基质金属蛋白酶-9 (MMP-9) 环境下缓慢分解的 GelMA，降解周期长，可持续给药，并且硬度高、不易弯折；HA 为物理水溶性材料快速溶解，接触创面液体数分钟内完全溶散，无酶响应特性且力学强度极低。通过对比不同高分子的降解性、力学强度、生物相容性等，理解材料选择与微针穿刺、载药、贴合性能的关系，让学生理解结构决定功能的核心原理。在“材料表征与性能评价”章节案例，以双层微针的表征与性能检测为核心，通过扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 观测结果 (如图 2)，讲解微针“尖锐锥形结构 (高 850 μ m、基

底直径 400 μm ” 的特征逻辑, 分析针尖锋利度与皮肤穿刺性能的关系, 强化学生对微观结构与宏观性能关联的认知^[6]。

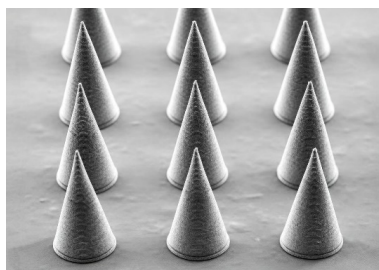


图2 双层微针贴片的SEM图像 (比例尺500 μm)

3 沉浸式教学场景构建策略: 强化学生主体参与

基于真实的科研环境、科研课题以及科研制度下, 营造沉浸式的学习氛围, 让学生由原来的被动接受到自主探索, 注重沉浸式的转化所带来的场景真实性与任务代入感。

建立“科研实验室教学开放日”机制, 定期开放研发实验室, 学生可亲临观摩科研人员的实验操作并理解实验原理, 如检测微针药物的抗菌性时, Liu 等人先将大肠杆菌、金黄色葡萄球菌在培养皿上培养至成熟生物膜形成, 随后采用不同微针贴片对其进行处理, 实验结果表明微针与 3-氨基-1,2-丙二醇修饰的镓卟啉 (SDDMN-POGa) 贴片通过季铵化壳聚糖与 L-精氨酸破坏细菌细胞膜, 同时 3-氨基-1,2-丙二醇修饰的镓卟啉 (POGa) 模拟血红蛋白以“特洛伊木马”策略进入菌体, 竞争性干扰铁代谢导致细菌铁饥饿、氧化应激与代谢抑制, 最终发挥强效杀菌作用 (如图 3A) ^[7]。在实验室开放过程中, 学生不仅能直观感受完整的科研流程, 还可深入了解高端科研设备的应用与实操, 如微针的溶血与细胞毒性检测实验, Zhou 等人在溶血实验中, 将大鼠红细胞悬液与纯水、无菌磷酸盐缓冲液 (Phosphate Buffered Saline, PBS)、不同浓度 (100、200、300 $\mu\text{g/mL}$) 的盐酸环丙沙星 / 葡萄糖氧化酶 @ 沸石咪唑酯骨架-8 (CIP/GOx@ZIF8)、空白微针、盐酸环丙沙星 / 葡萄糖氧化酶 @ 沸石咪唑酯骨架-8 微针 (CIP/GOx@ZIF8 MNs) 共孵育后离心, 使用酶标仪在 540 nm 波长时测定上清液吸光度 (OD 值), 并依据 OD 值计算细胞存活率以计算溶血率 (如图 3B), 结果表明各组溶血率均远低于 5%, 无明显溶血风险; 细胞毒性实验则采用 CCK-8 法, 不同浓度的 CIP/GOx@ZIF8、空白微针、CIP/GOx@ZIF8 MNs 与小鼠胚胎成纤维细胞 (NIH3T3) 共培育后, 通过酶标仪在 450 nm 波长检测 OD 值并计算细胞存活率 (如图 3C), 结果显示各组细胞存活

率均高于 80%, 无显著细胞毒性^[8]。实验可依托酶标仪实现高精度、高通量的生物安全性定量测定, 为材料生物相容性评价与后续科研进展提供关键数据支撑。

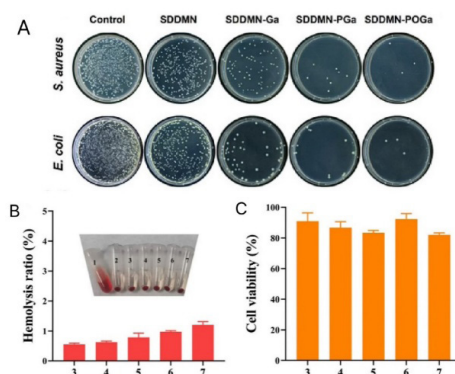


图3 (A) 不同处理后, 琼脂板上生物膜中的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌菌落图; (B) 不同浓度的CIP/GOx@ZIF8、空白微针和CIP/GOx@ZIF8 MNs的溶血率; (C) 不同浓度的CIP/GOx@ZIF8、空白微针和CIP/GOx@ZIF8 MNs的细胞存活率

4 资源联动保障策略: 夯实成果转化基础

整合科研平台、教学资源、师资队伍、奖励机制等, 为 OBE 量化能力达成提供硬件支撑与专业指导, 避免因资源不足导致转化流于形式。

依托现有科研平台, 构建科研教学资源共享机制, 面向教学开放中试生产线及高端检测设备。国内多所高校已实现科研平台与教学实验室一体化共享建设。学院依托大型精密仪器共享平台, 涵盖酶标仪、光谱仪、色谱仪及各类材料表征设备, 实行科研与教学分时预约管理: 工作日科研时段供课题组使用, 教学时段服务本科生《仪器分析》《生物材料实验》等课程, 课余时间面向学生科创、毕业设计 & 学科竞赛开放。同时推行导师制 + 科创小组模式, 吸纳学生参与课题组样品制备、仪器测试与数据分析等科研工作, 以科研资源赋能课堂教学, 实现以研促教、教研相融。

系统梳理科研项目中的实验方案、操作流程与教学视频, 汇编形成标准化教学资源包, 助力教师规范化授课、统一教学标准。如武汉大学将糖尿病创面微针相关科研成果, 整合实验方案、操作视频、原始数据及标准规程, 建成专项教学资源包并全校共享; 统一教学内容、实验流程、报告模板与评分标准, 实现教学全过程规范化, 有效稳固教学质量^[6]。

组建“科研教师 + 教学教师”的合作小组, 以生物材料与制药工程专业为例, 科研教师与教学教师形成“联合备课、共授课程、协同指导”的模式。科研教师利用其微

针载药、高分子合成等课题,将前沿技术、真实实验数据与科研思维融入到《生物材料实验》等课程;而教学教师则主要完成整个课程的设计、基本概念的教学及课题讲授等工作。双方共同对学生进行科创指导,将科研最前沿成果真正带进课堂,提高学生的科研能力和水平。

学校构建师生双向奖励机制,对科研成果转化为教学资源包的老师给予工作量、经费、评优与职称等方面的政策倾斜,同时对于充分利用这些资源包表现突出的学生给予成绩、综合测评加分以及荣誉等方面的支持,从而激发教师和学生的积极性,提高教育教学质量和育人成效。

5 动态评价与持续改进策略:保障转化质量闭环

基于 OBE 持续改进核心理念,从四个方面、不同阶段、可量化标准进行考核,采用“过程性评价占 60%、终结性评价占 40%”的组合方式,形成“评价—反馈—整改—再评价”闭环。

从动手操作、数据分析、问题解决、科研创新四个维度建立量化评价标准。动手操作分基础、进阶、创新三层:基础考核操作规范准确度,进阶考核样品制备合格率,创新考核生产工艺优化改进能力;数据分析同样分层评价:基础考核实验数据完整规范性,进阶考核数据统计与图表绘制能力,创新考核基于数据开展逻辑推理与论证的能力。依据学生年级梯度提升问题解决与科研创新考核要求,全面客观反映综合能力,确保评价体系可操作、公平化、易落地。

定期开展师生座谈、发放匿名问卷,收集学生对实验难度、仪器配置、软件教学、教师辅导等方面的意见建议,建立问题收集与常态化整改机制。每学期增设 1-2 项前沿科研课题,动态调整课时安排与教学指导模式;邀请高校专家与企业工程师从学术研究和工程实践双维度开展课程质量评估。同时跟踪毕业生发展现状,收集知识掌握与应用反馈,持续迭代优化课程体系,保障教学成效长效稳定。

6 结语

本课题以微针制备为载体,以 OBE 理念为基础,建立“梯度化拆解—课程化绑定—沉浸式场景—资源化保障—动态化评价”向实践教学沉浸式转化机制,解决工科教育中存在的理论脱离实际以及 OBE 理念落实不到位等问题。在科研与课堂教学相结合、真实的科研环境、充足的资源支持和持续改进的过程中,学生的动手能力、分析

问题的能力、解决问题的能力以及科研能力都有所提高。而动态化的评价反馈也使这一转化过程得以完善,为其他工科科研成果的教学转化提供参考,也在培养工科人才方面有着十分重要的作用。

参考文献:

- [1] Li, Q., et al. Rapid dissolution microneedle based on polyvinyl alcohol/chitosan for local oral anesthesia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024. 257.
- [2] Ryall, C., et al. Chitosan-based microneedle arrays for dermal delivery of Centella asiatica. *International Journal of Pharmaceutics*, 2022. 627.
- [3] Lori Zoudani, E., N.T. Nguyen, N. Kashaninejad. Microneedle optimization: Toward enhancing microneedle's functionality and breaking the traditions. *Small Structures*, 2024. 5(12): p. 2400121.
- [4] Wang, P., et al. Intelligent microneedle patch with prolonged local release of hydrogen and magnesium ions for diabetic wound healing. *Bioactive Materials*, 2023. 24: p. 463-476.
- [5] Xue, Y., et al. Transdermal Drug Delivery System: Current Status and Clinical Application of Microneedles. *ACS Materials Letters*, 2024. 6(3): p. 801-821.
- [6] Zeng, Y., et al. Spatiotemporally responsive cascade bilayer microneedles integrating local glucose depletion and sustained nitric oxide release for accelerated diabetic wound healing. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2024. 14(11): p. 5037-5052.
- [7] Liu, M., et al. Glucose-Responsive Self-Healing Bilayer Drug Microneedles Promote Diabetic Wound Healing Via a Trojan-Horse Strategy. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2024. 16(19): p. 24351-24371.
- [8] Zhou, Q., et al. A multimodal therapy for infected diabetic wounds based on glucose-responsive nanocomposite-integrated microneedles. *Journal of Materials Chemistry B*, 2024. 12(4): p. 1007-1021.

基金项目:宝鸡文理学院本科教学改革研究项目。项目编号:25JGZX17。

* 通讯作者:许丰瑞。