

组织器官再生修复的信息解码及有序调控

—— 朱莉娅 9.5

项目指南

- **组织器官再生修复的有序调控与干预策略**

基于再生网络中的关键节点与调控机制，探索综合性生物、物理、化学干预手段，制定高效的再生修复干预策略。鼓励结合AI优化、多组学分析和3D打印等技术，建立面向精准再生与功能重建的技术体系，激活内源性再生能力及靶向调控微环境；进行基于AI与虚拟器官技术的干预策略设计与调试；优化干细胞、类器官、组织工程等技术用于损伤修复及功能重建，构建在体替代组织、器官创新路径，推进至临床试验阶段。

项目名称：人工智能驱动的骨组织精准打印与功能重建研究

- 核心思路：本项目旨在突破传统骨组织工程中“试错法”研究和“开环”制造的局限，创新性地提出并构建一个“AI驱动全流程”的智能骨再生系统。通过将人工智能（AI）技术深度赋能于生物墨水设计（前处理）、打印过程控制（过程中）、功能验证与调控（后处理）三大阶段，实现从支架结构设计、精准打印到功能重建的闭环优化，最终制造出兼具优异力学性能、特定生物学微环境（最优骨诱导性）和高细胞活性的仿生骨支架，为解决大段骨缺损修复难题提供新范式。

研究意义

- 理论意义：将AI赋能生物制造的先进框架（Cell Biomaterials, 2025）引入骨组织工程，推动该领域研究范式从“经验驱动”向“数据驱动”和“模型驱动”的变革。通过揭示打印过程中力学环境与细胞活性的定量关系（Adv. Sci., 2025），并明确骨诱导性的最优结构参数（Biomaterials, 2025），深化对“结构-性能-功能”内在联系的理解。
- 实践意义：解决挤出式生物打印中“打印精度”与“细胞活性”难以兼得的行业痛点。通过闭环控制减少材料浪费和打印失败，显著提高制造效率与成功率。项目产出的智能设计准则和最优打印参数库，可为高性能骨再生材料的开发和标准化生产提供关键技术支持，加速其临床转化。

研究内容

1. 面向骨诱导功能的智能仿生支架设计与多参数优化模型构建（力学性能-吴昊，生物学性能-付任垚）

利用人工智能方法，同时优化支架的宏观结构（力学导向）和微观材料组分（生物学导向），以实现预定的骨诱导功能目标。

2. 多模态感知与多目标协同的实时闭环打印控制系统开发（马超）

集成机器视觉实时监测并分类打印缺陷，同时结合CFD-ML模型在线预测剪切应力对细胞活性的影响，最终通过强化学习算法融合多源信号，动态调整打印参数，实现打印精度与细胞活性的协同保障。

3. 基于器官芯片的AI驱动动态调控与功能验证（陈正红）

将打印的支架在集成传感器的骨组织芯片中进行培养，利用AI高通量分析成骨分化、血管生成等指标，并根据反馈数据自适应地调整施加的力学或电刺激方案，模拟体内动态微环境，最大化促进骨再生。

4. 体内外功能评价与智能骨再生数据库构建

通过大鼠骨缺损模型验证智能打印支架的成骨效果；整合全流程产生的多模态数据（结构、工艺、生物学性能），构建专用数据库，为领域发展提供数据支撑并反哺AI模型优化。

需要完成的内容

- 国内外研究现状及发展动态分析
- 研究内容
- 拟采取的研究方案