

能力进阶导向的双轨联动教学模式构建与实践 ——以合成生物学实验课程为例

王梦琦*, 胡 适, 王嘉怿, 雷长海#

海军军医大学基础医学院, 上海

收稿日期: 2025年8月20日; 录用日期: 2025年10月6日; 发布日期: 2025年10月16日

摘 要

研究针对传统医学实验教学“重操作轻能力”问题, 提出并实践了以“能力进阶”为导向的“双轨制”教学体系。该体系通过“验证性实验轨-设计性实验轨”的双轨联动模式, 以验证性实验奠定技术基础、规范操作流程, 培养学生核心技能与科学态度。设计性实验在此基础上驱动学生自主设计实验方案, 解决复杂问题并激发创新思维。两轨通过“技术奠基-能力跃迁”闭环路径协同合作, 实现知识、技能与思维的螺旋上升。结合《合成生物学》课程实践验证, 构建了从“技术掌握”到“创新思维”的清晰递进“能力链”。动态评价体系贯穿教学全程, 多维度评价方法全面追踪学生能力发展。结果表明, 该模式显著提升了学生的实验操作水平、问题解决能力与创新意识, 增强了学生对课程知识的理解深度与参与度, 激发了实验课参与积极性, 提升了团队协作能力。

关键词

实验教学, “双轨制”教学模式, 能力导向

Construction and Practice of a Dual-Track Interactive Teaching Model Oriented by Competency Progression

—A Case Study of a Synthetic Biology Experimental Course

Mengqi Wang*, Shi Hu, Jiayi Wang, Changhai Lei#

College of Basic Medical Sciences, Naval Medical University, Shanghai

Received: August 20, 2025; accepted: October 6, 2025; published: October 16, 2025

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

This study addresses the issue of “emphasizing operation over competence” in traditional medical experimental teaching by proposing and implementing a “dual-track” teaching system oriented by “competency progression.” Through an interactive model of “verification-based experiment track - inquiry-based experiment track,” the system uses verification-based experiments to establish a technical foundation and standardize operational procedures, cultivating students’ core skills and scientific attitudes. Building on this, inquiry-based experiments drive students to independently design experimental schemes, solve complex problems, and stimulate innovative thinking. The two tracks collaborate through a closed-loop path of “technical foundation - competency leap,” achieving a spiral progression of knowledge, skills, and thinking. Practice in the “Synthetic Biology” course demonstrated the establishment of a clear progressive “competency chain” from “technical mastery” to “innovative thinking.” A dynamic evaluation system, integrated throughout the teaching process, employs multi-dimensional assessment methods to comprehensively track students’ competency development. Results indicate that this model significantly enhances students’ experimental operational skills, problem-solving abilities, and innovative awareness, deepens their understanding and engagement with course knowledge, boosts participation in experimental classes, and improves teamwork capabilities.

Keywords

Experimental Teaching, “Dual-Track” Teaching Model, Competency-Oriented Approach

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

基础医学实验教学是医学教育联结理论与实践的核心纽带，承担着培养医学人才科学思维与实践能力的关键使命[1]。然而，传统实验教学体系普遍存在“三重三轻”弊端，使学生被动机械执行标准化流程，缺乏对科研逻辑的理解和完整项目流程的认知，其批判性思维、问题解决能力与创新意识难以得到有效培养，与新时代医学人才需求存在显著差距[2]-[4]。当前，国际医学教育领域正广泛倡导从“知识传授”向“能力培养”转型。能力本位教育(Competency-Based Education, CBE)强调以学生最终获得的能力成果为导向组织教学[5]-[7]。探究式学习(Inquiry-Based Learning, IBL)及其高级形式如项目式学习(Project-Based Learning, PBL)和基于课程的本科生研究体验(Course-based Undergraduate Research Experiences, CUREs)，通过让学生参与真实、开放的科学研究过程，被证实能有效培养其批判性思维、解决复杂问题的能力 & 科研身份认同[8]-[12]。然而，这些模式在实施中常面临挑战：PBL 和 CUREs 对学生基础知识和自律性要求较高，易导致部分学生跟不上进度；而单纯的验证性实验又难以培养高阶思维能力。

鉴于此，本文核心在于提出并实践一种以“能力进阶”为导向的基础医学实验教学新体系。其核心“双轨制”模式，旨在通过结构化设计，系统性提升学生的综合实验能力，符合新时代医学人才要求，契合建构主义与能力本位教育理念。本研究选择具有典型项目驱动特性的前沿学科——《合成生物学》课程(海军军医大学，2024-2025 春季学期)作为实践载体，验证并展示“双轨制”模式在激发创新思维与实践能力方面的潜力。本研究旨在构建的“双轨联动”模型，汲取了 CBE 的能力导向核心理念，并创新性地融合了结构化技能训练(验证性实验轨)与开放探究体验(设计性实验轨)，旨在弥合传统实验教学与纯

PBL/CUREs 模式之间的鸿沟,为系统化、普适性地提升医学生实验综合能力提供一个新框架。基于此,本研究目标是阐述“双轨制”架构、能力进阶导向的实验教学体系设计理念与框架,报告其在课程中的实施路径与过程,评估成效,为基础医学实验教学改革提供实证与参考。

2. 理论框架与模型构建:能力进阶导向的“双轨制”教学模型构建

为切实落实“以能力进阶为导向”的教学理念,本研究构建了“验证性实验轨-设计性实验轨”双轨联动(Dual-Track Linkage, DTL)教学模型。其中,验证性实验轨聚焦基础性技术规范、原理认知与科学态度的结构化训练,奠定坚实的能力基座。设计性实验轨则驱动学生基于基座能力,进行自主探究、方案设计与问题解决,实现从技术操作者向问题解决者的能力跃迁。两轨之间并非割裂,而是通过精心设计的“双轨联动”机制,实现知识、技能与思维的螺旋上升。

2.1. 验证性实验轨:技术奠基与规范塑形

在医学人才培养体系中,其在后续更具探索性与创新性的实践中,能有效进行变量控制、问题分析和方案优化,减少因基本操验证性实验作为学生实践能力和创新能力发展的基石,通过引导学生依据成熟理论框架和标准化操作精准复现与验证已知科学现象或结论,对基础能力模块进行结构化培养,体现在精准掌握基础技能、具象化理解理论知识、塑造科学规范意识三个方面[13]。学生通过反复练习掌握基础实验技能,将生疏动作转化为精准操作能力,为后续实验筑牢基础。通过亲手操作与现象观察使抽象理论具象化,让学生直观理解变量因果关系与作用机制[4]。严格遵循既定步骤、操作规程等,塑造学生严谨求实的科学态度与职业习惯。验证性实验采用“技术习得-原理验证-规范养成”的训练模式,为医学生构建稳固“能力基座”,减少因实验操作失误或原理解理解偏差导致的失败,提升实践与创新能力,为未来医学专业发展提供有力支撑。

2.2. 设计性实验轨:能力跃迁与创新孵化

在医学实验教学体系中,设计性实验是高阶实践环节,旨在引导学生在教师指导下围绕特定科学问题或研究目标,自主完成从方案构思到结果验证的全过程,培养学生独立解决复杂问题的综合能力与创新思维[14]。

在自主设计与决策方面,学生基于验证性实验所学知识,自主提出假设、设计实验路径、选择工具并制定操作流程,独立完成变量控制、数据采集和过程管理,展现出自主决策与动态管理能力。在技术迁移与整合方面,学生理解不同技术组合的逻辑关联,通过“假设-设计-验证-反思”循环,构建研究框架、控制变量干扰、进行归因分析,形成系统性科学思维,从而灵活运用所学技术解决实际科研和临床中的复杂问题。在创新思维与探索意识方面,设计性实验鼓励学生在方案迭代与反复试错中突破常规路径,激发创新潜能。学生不断尝试新方法和思路,孕育探索意识与创新思维。

2.3. 双轨联动:闭环路径与能力图谱构建

验证性实验轨与设计性实验轨通过“双轨联动”机制,形成“技术奠基-能力跃迁”闭环。验证性实验轨提供“能力基座”,让学生掌握核心技术和原理,形成“技术模块库”和“科学认知框架”。设计性实验轨在此基础上,驱动学生面对开放性问题时自主设计整合方案,实现能力跃迁(图1)。

双轨联动促进教学理念转变和学生能力整合。教师角色也从技术监督者转变为项目指导者,通过设计阶梯式挑战引导学生能力进阶。最终,双轨联动构建起完整的“能力图谱”,验证性实验奠定技术精准度和规范依从性,设计性实验孵化问题凝练、系统设计和批判优化能力,两者协同支撑医学人才所需的综合实践能力和创新思维体系。

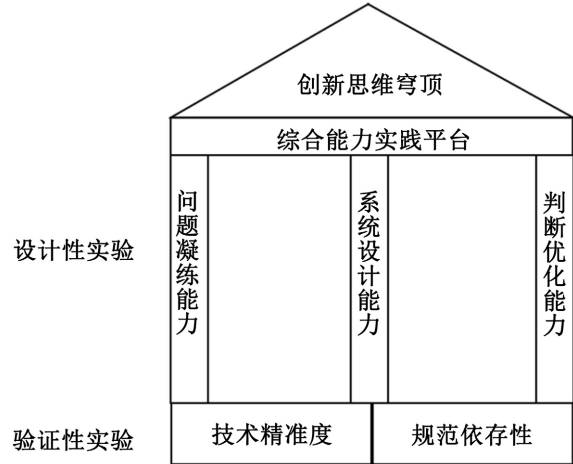


Figure 1. “Dual-track” teaching approach for building an experimental competency dome model
图 1. “双轨制”教学方法构建实验能力穹顶模型

3. 能力导向的教学设计核心策略

3.1. 目标重构：从知识点到能力链

本课程摒弃了以掌握零散知识点为核心的传统教学目标，转而致力于构建一条清晰递进的“能力链”（图 2）。该能力链不仅是教学设计的核心框架，更是评估教学成效的关键标尺，旨在系统性培养学生在合成生物学领域所需的综合实践能力与创新潜力。

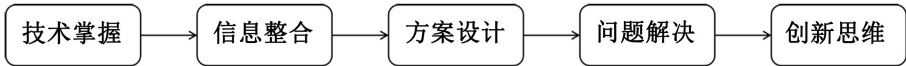


Figure 2. Course objectives: The “capability chain”
图 2.课程目标 “能力链”

验证性实验轨主要聚焦于“技术掌握”和“信息整合”中的原理理解，以及“问题解决”中的基础规范。学生通过高结构化的实验习得核心实验技术的规范操作，精准掌握仪器使用、试剂配制和数据记录等实验技能，并深入理解其底层原理、适用范围及关键参数意义。同时，严格的标准操作流程训练与数据规范解读，初步培养了学生在可控环境下遵循科学规范解决基础问题的能力，为能力链后端高阶能力奠定坚实的“能力基座”。

设计性实验轨则是着力于能力链的“方案设计”、“问题解决”及“创新思维”环节[15]。学生基于验证性轨奠定的技术与认知基础，面对开放性科学问题，需自主设计实验方案。此过程要求学生整合多源信息，在复杂情境中识别关键变量、排除干扰、克服实验中的突发障碍，并通过方案迭代与试错探索，突破常规思路，提出新颖的解决策略或优化路径。

3.2. 师生角色转型：脚手架式支持与自主决策

在设计性实验教学中，教师从“示范者”转变为“引导者”和“协调者”。教师组织学生分组展示初步设计，共同探讨改进建议，而非直接给出答案。同时，提供基因元件库和工具选择清单，帮助学生精准选择和组合。面对技术难题或数据异常，教师通过开放性提问引导学生分析问题根源，鼓励尝试多种解决方案。学生从碎片化认知转变为以综合项目引导思维的整体观，将实验视为系统性工程。学生在实验中拥有高度自主权，可自主设计基因线路、选择检测指标和分析方法，调整实验参数，并在面对意外

数据或偏差时自主决策是否重复实验或优化条件。这一模式显著提升了学生的自我管理能力。

3.3. 评价革新：动态追踪能力发展

为科学评估“双轨制”教学对学生核心能力培养的效果，我们构建了动态评价体系。其中，验证性实验教学评价综合课堂表现实时评价与实验报告册内容评价。教师授课时实时评估学生知识掌握和操作表现，实验记录报告册反映学生操作掌握程度及数据处理分析能力。设计性实验教学评价则融合课程大作业展示、综合评价和问卷调查。其中课程大作业反馈学生团队协作等能力，综合评价环节教师点评实验结果分析并组织学生互评，问卷调查收集学生意见。为精准评估设计性实验中的高阶能力，我们制定了细化的评价标准。例如，对于“实验方案设计”的评估，不仅关注其最终合理性，更注重其逻辑严谨性和创新性；对于“问题解决”的评估，重点考察其排查问题的系统性而非仅仅依靠教师提示。这套明确的标准也在学期初向学生公布，使其清晰了解学习目标，实现了“以评促学”(见表 1)。在此过程中，学生的方案设计能力通过设计性实验的课程大作业和综合评价阶段评估，在实验操作中解决问题的能力，通过在实验操作过程中的实时观察与记录来评价。针对“科学表达能力”，则通过实验报告等方式考量成果呈现的清晰度、科学性。我们强调过程性评价，全面、动态地评估学生的学习过程和能力发展。这种多元化评价方式有助于了解学生的学习进展和能力提升情况，为教学改进提供精准依据。

Table 1. Grading rubric for the design-based experiment in the synthetic biology course
表 1. 合成生物学课程设计性实验评分细则

评估维度 (Criteria)	4-优秀 (Exemplary)	3-熟练 (Proficient)	2-发展 (Developing)	1-入门 (Beginning)	权重
方案设计	方案科学严谨，逻辑自洽。能充分考虑宿主兼容性、代谢负荷等限制条件，主动设置合理的阳性/阴性对照，并具备创新的设计思路。	方案合理可行，能考虑到主要限制条件(如宿主)，设置了必要的对照，但细节或备份方案有待完善。	方案基本成立，但考虑不周(如忽略对照、代谢负荷等)，存在明显漏洞，多为模仿性设计，缺乏独立思考。	方案存在原则性错误或不可行，未能理解基本设计原则。	30%
实验实施	操作规范、熟练高效，能严格遵循实验室安全规范。实验记录及时、准确、完整，能清晰追溯每一步操作和所有原始数据，展现了良好的科研习惯。	操作基本规范，能完成实验任务。实验记录完整，但可能缺乏一些细节或略显凌乱。	操作出现多次错误或在教师关键指导下完成。实验记录遗漏较多或事后补记，难以重现实验过程。	操作不规范，存在安全隐患。实验记录严重缺失或杂乱无章。	25%
问题解决	能自主、系统性地分析和排查问题(如设计对照实验层层递进定位问题根源)，并提出多种可行的解决方案并进行验证，展现了出色的科研韧性和探究能力。	在教师少量提示下能分析问题原因，并能执行有效的验证实验来解决大部分问题，但方法的系统性和深度有所欠缺。	主要依靠教师指引或同伴帮助来发现问题点和解决方案，缺乏自主排查能力，只能解决简单问题。	遇到问题束手无策，完全依赖教师给出直接指令，缺乏主动思考和尝试。	30%
科学表达与协作	报告/答辩逻辑清晰、论述有力，能合理解释结果和误差。在团队中扮演核心角色，主动协调分工，积极贡献想法，并能有效整合他人意见，团队协作效率高。	报告结构完整，表述清楚。能良好地完成自己的分工，并积极参与小组讨论和合作，能与组员有效沟通。	报告/表述条理理性不足，或对结果的解释存在偏差。在团队中参与度不高，仅完成指定任务，沟通协作能力较弱。	报告杂乱无章或严重偏离要求。缺乏基本的沟通和协作能力。	15%
总分	100%				

4. 实践案例：合成生物元件目的基因的提取和鉴定的“双轨制”教学设计

验证性实验模块的教学架构：在实施过程中，教师首先创设认知冲突，通过展示深海发光现象，引出“如何验证基因线路”的核心问题，激发学生的探索欲。随后，在实验的关键步骤设问环节，引导学生深入思考 PCR 退火温度设定原理以及凝胶浓度选择依据，培养其对实验细节的关注。在实验操作示范纠偏方面，教师采用“错误操作模拟 + 标准化演示”的方式，强化学生对移液枪等仪器的规范使用。学生活动则紧密围绕任务展开。学生需分步复现技术锚点，依次完成引物设计、PCR 扩增和电泳验证等操作，从而熟悉实验流程。同时，要求学生绘制技术流程图解，并详细标注温度、时间等关键参数及其生物学意义，加深对实验原理的理解。通过原理讨论，学生学会整合信息，关联温度参数与 DNA 变性/复性机制。经标准化操作训练，学生熟练掌握冰上操作、微量加样等规范，提升技术掌握程度与严谨性。在凝胶结果分析时，学生需运用批判性思维，辨析非特异性条带的成因，培养其分析与解决问题的能力。

设计性实验模块的能力进阶：设计性实验的任务设计聚焦于学生自主设计范围，要求学生基于 iGEM 标准化基因元件库，设计能够实现特定功能的基因线路。为支持学生完成这一任务，教师提供了全方位的脚手架资源，包括元件功能分类表和宿主兼容性指南等详实资料，并实施分阶指导策略：在概念设计阶段，教师严格审核元件逻辑，确保设计合理性；进入构建阶段后，指导学生优化基因元件组合，提升线路效率。在实施过程中，学生以小组形式协作完成实验操作。在基因线路设计阶段，学生需筛选适配元件并进行线路建模，以此训练方案设计能力。构建阶段，通过 PCR 技术验证元件连接，强化技术迁移应用能力。验证阶段，借助荧光强度定量分析，培养学生基于数据的决策思维。教师在整个过程中实施动态干预，秉持“最小限度支持”原则，仅在线路存在宿主毒性风险等关键节点介入指导。就能力映射与进阶定位而言，元件兼容性设计环节着重培育学生的系统思维，要求其协调启动子强度与宿主负荷；对非预期结果的复盘分析则锻炼了学生的问题解决能力。此外，通过小组协作的方式，每个小组成员都承担固定任务，如数据记录、实验现象观察等，提升了学生的团队协作能力。

以下以“质粒载体中 GFP 目的基因的提取与鉴定”为例：

首先，任务与初始方案：在本次实验课程中，学生的基础任务是“从指定的 pGLO 质粒中，通过酶切法提取绿色荧光蛋白(GFP)基因，并完成电泳鉴定”。以某小组提交的实验初版方案为例，其计划直接使用 EcoRI 和 BamHI 双酶切 pGLO 质粒，回收预期大小的片段，并进行琼脂糖凝胶电泳验证。该方案暴露了学生普遍存在的典型问题：

- 1) 对照思维缺失：方案中仅有“酶切实验组”的电泳计划，完全缺少至关重要的对照组(如“未酶切质粒”对照组)，无法证明条带是酶切产物还是杂质或基因组 DNA。
- 2) 方案严谨性不足：未考虑酶切效率可能不高的风险，计划将全部酶切产物上样电泳，一旦失败则无备用材料，且未指定使用 DNA 分子量标准(DNA Ladder)。
- 3) 结果预判模糊：对实验成功时应看到几条条带、每条条带的理论大小是多少，描述模糊不清，缺乏前瞻性分析。

其次，教学互动与方案迭代：教师并未直接补充方案，而是通过引导性问题，启发学生自主完善实验设计：

- 1) 针对对照设置：“如果你的电泳图上出现一条条带，你如何确定它就是你想要的 GFP 基因，而不是未切开的完整质粒，或是实验过程中污染的 RNA？”
- 2) 针对方案严谨性：“如果内切酶活性不足或部分失活，你的实验结果会怎样？你如何从实验设计上确保自己能观察到这种现象并做出判断？”
- 3) 针对理论预判：“pGLO 质粒大小为 5.4 kb，GFP 基因大小为 0.7 kb。成功双酶切后，你的胶图上

应该看到几条条带？每条的大小应该是多少？请在图谱上预先标出。”

针对这些提问，该小组成员进行讨论。A 学生提出“必须设置‘未酶切质粒’对照组”，以验证酶切是否完全；另有成员建议：“增加‘DNA Ladder’作为分子量参照，并保留一半产物作为备用”，以提升结果的可靠性与实验的容错性。还有组员根据理论计算预判了成功酶切后应出现的两条特定大小的条带，为结果分析提供了清晰的标准。基于讨论，小组形成了修改后方案：

1) 对照完善：设置三个电泳孔：① 孔 1 (实验组)：EcoRI/BamHI 双酶切后的 pGLO 产物。② 孔 2 (阴性对照)：未酶切的 pGLO 质粒。③ 孔 3 (参照组)：DNA 分子量标准(DNA Ladder)。

2) 方案优化：将酶切产物一分为二，仅取 50%进行电泳，剩余 50%保存于 -20°C 。

3) 预判可视化：在实验记录本上预先画出了理想的电泳图谱，并标明了各条带的预期位置和大小。

最后，能力进阶体现：该小组在电泳结果中观察到预期大小的目标条带，但也发现一条微弱非预期条带。他们并未轻易认定实验成功，而是依据优化后的方案展开自主排查：通过对照分析锁定条带来源，经逻辑推理判定为“酶切不完全”，并反思操作中“酶液未充分混匀”等细节问题，最终在确认主要产物成功获取的同时，明确了下步纯化策略。这一过程完整体现了学生从“流程操作者”向“实验诊断者”的角色转变，其在对照思维、因果分析、自我反思和应对复杂数据方面的能力实现了实质性跃迁。

5. 教学成效分析

采用项目导向“双轨制”实验教学法成效显著。学生对理论课知识的理解更为深入，实验课参与度与积极性较往届大幅提升。他们能够更全面地分析实验结果及其影响因素，熟练掌握设计与验证基因线路的基本操作流程。这一教学法极大激发了学生对科研的兴趣，调动了他们参与“第二课堂”和大学生创新训练计划项目的积极性。部分学生凭借设计的基因线路参加了第二届海军军医大学合成生物学竞赛，展现出较高的创新能力和实践水平。教师在教学实施过程中，能够更有效地帮助学生理解基因线路验证表达的实验操作理论知识。这种教学模式为学生未来从事科研工作奠定了坚实的基础，提供了有力的支持。

6. 讨论与反思

尽管“双轨制”教学模式在初步实践中显示出积极成效，但在实践过程中我们也遇到了一些挑战。本部分将结合教学实施过程中的具体观察，与国际上相关教学模式(如 PBL、CUREs)的普遍性挑战进行对比思考，旨在全面评估该模型，为其未来的应用与推广提供更具现实指导意义的参考。

6.1. 实施过程中的挑战与应对策略

在实际操作中，我们主要面临以下三方面的挑战：

1) 学生基础异质性与个性化支持需求：设计性实验轨对学生的前置知识储备、实验技能及自主学习的能力要求较高。尽管在验证性实验轨中已进行了统一培训，但学生群体在理论基础、动手能力乃至抗挫折能力上依然存在显著差异。这种异质性在设计性任务中被放大，导致部分学生在方案设计和问题解决中遇到较大困难，容易产生挫败感，与 PBL 实践报告中指出的“学生准备度不足”这一常见问题一致。为应对此挑战，我们计划在下班次的授课中通过差异化辅导清单、一对一答疑辅导和建立“生生互助”机制进行支持。然而，如何在大班教学中实现规模化、高效率地个性化支持，仍是未来需要持续探索的课题。

2) 教师角色转型与工作量激增：“双轨制”教学要求教师从传统的“操作示范者”彻底转型为“课程设计者”和“学习引导者”。这一转型意味着巨大的工作量投入：教师需要投入大量时间设计开放性

问题、评审多样化的学生方案、准备多路径实验材料，并在实验过程中进行动态引导。这与 CUREs 模型强调的“教师作为教练”角色一致。在实际运行中，教学团队每周需额外投入约 15~20 小时用于教学准备与过程指导。因此，该模式的有效运行高度依赖于团队教学模式的建立，例如组建包含资深教师、青年讲师和博士助教在内的教学团队。

3) 实验失败率高与课程进度管理的张力：开放式探究难免出现失败，这虽是培养学生科研韧性的重要机会，但也与固定学期时长存在冲突。例如，在本课程的“合成生物元件目的基因的提取和鉴定”模块中，约有 30% 的小组因元件兼容性、操作污染等原因首次尝试失败。虽然通过复盘分析取得了良好的学习效果，但补救实验压缩了后续内容的时间。未来可考虑引入更灵活的“微项目”周期，或应急预案(如预备的阳性对照样品、备用克隆等)，以在保障学习深度的同时维持课程的整体框架。

6.2. 模型局限性与适用边界

本模式的有效性高度依赖于特定条件，其应用存在明显边界。首先，该模式对师资与资源要求苛刻，不仅需要教师具备扎实的科研能力以应对开放的学术指导，还消耗远多于传统教学的试剂、耗材与设备时间，因此资源有限的院校难以推广。其次，它更适合小班教学。在大班中全面推行难度大，可采用渐进策略，进行模块化试点。最后，其学科普适性有限，在合成生物学等易于试错、设计驱动的学科中优势突出，而在周期长、成本高或验证性为主的学科(如形态学、动物实验)中则面临伦理与安全约束。对这些学科，其核心价值在于“能力进阶”理念的借鉴，需通过仿真、案例等形式进行本土化改造。

7. 结论与展望

本文提出了一种能力进阶导向的基础医学实验教学新体系，旨在解决传统实验教学中的“三重三轻”弊端，通过构建“验证性实验轨-设计性实验轨”双轨联动(Dual-Track Linkage, DTL)教学模型，培养学生的核心实践能力与创新思维。该模型以“技术奠基-能力跃迁”闭环路径为核心，实现知识、技能与思维的螺旋上升。教学设计从“技术掌握”到“创新思维”构建了清晰的能力链，并通过动态评价体系和多元化评价方法，全面追踪学生的学习过程和能力发展。教师角色转型为“引导者”和“协调者”，为学生提供脚手架式支持，促进学生自主决策和自我管理能力的提升。在实践案例中，验证性实验模块强化学生对实验原理的理解和操作技能的掌握，设计性实验模块则培养学生的方案设计能力和技术迁移应用能力。通过小组协作和教师动态干预，学生在实践中提升团队协作能力和问题解决能力。展望未来，我们将持续优化“双轨制”教学体系，探索更多前沿学科实践载体，完善能力链构建和评价指标体系的细化，加强教师培训与专业发展，推动基础医学实验教学的持续创新与改进，为基础医学教育改革提供更具价值的实践范例和理论参考。

参考文献

- [1] 康红艳, 周钢, 刘美丽, 等. 面向医工交叉人才培养的基础医学实验教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(7): 183-186, 205.
- [2] 赵熠, 赵旻, 武军驻, 等. 面向创新人才培养的基础医学实验教学模式的探索[J]. 中国高等医学教育, 2024(2): 83-85.
- [3] 孔淑, 邢乾乾. “新医科”背景下基础医学融合实验探讨[J]. 产业与科技论坛, 2025, 24(7): 182-184.
- [4] 杨雯乐, 谢俊秋, 龙瑶, 等. 创新性人才培养的基础医学实验教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(10): 228-232.
- [5] 杨扬, 牛启超, 吴江, 等. 能力本位医学教育的弊端[J]. 中国高等医学教育, 2018(3): 19-20.
- [6] 刘瑛, 许丹凌, 吴长海, 等. 基于能力本位教育(CBE)人才培养机制的研究[J]. 价值工程, 2018, 37(8): 202-204.
- [7] 易文婷, 郎晓荣, 黄素芳. 护理教育背景下能力本位教育的研究进展[J]. 护理学杂志, 2024, 39(8): 119-122.

-
- [8] 王旭娜. 高等教育运用项目式学习助力学生创新能力培养[J]. 学园, 2025, 18(8): 60-62.
- [9] 任宇辰. 以项目式学习为基础的医学拔尖创新人才培养模式研究[J]. 科教导刊, 2025(10): 10-13.
- [10] Ballen, C.J., Blum, J.E., Brownell, S., Hebert, S., Hewlett, J., Klein, J.R., *et al.* (2017) A Call to Develop Course-Based Undergraduate Research Experiences (CUREs) for Nonmajors Courses. *CBE—Life Sciences Education*, **16**, mr2. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-12-0352>
- [11] Arifin, Z., Sukarmin, S., Saputro, S. and Kamari, A. (2025) The Effect of Inquiry-Based Learning on Students' Critical Thinking Skills in Science Education: A Systematic Review and Meta-analysis. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, **21**, em2592. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15988>
- [12] Soto, A.M., Weldon, J.E. and Hancock, S.P. (2025) Faculty Rewards from Course-Based Undergraduate Research Experiences (CURE) in Biochemistry. *Journal of Microbiology & Biology Education*, **26**, e00165-24. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00165-24>
- [13] 韩艳芳, 童学红, 崔艳秋, 等. 依托实验教学中心提升医学本科生医研能力[J]. 基础医学教育, 2025, 27(4): 333-336.
- [14] 雷明军, 应颖, 王刚, 等. 创新型系统整合基础医学机能实验课程体系构建[J]. 基础医学教育, 2025, 27(1): 58-61.
- [15] 陆源, 叶治国, 厉旭云, 等. 构建培养学生科研能力的基础医学实验教学体系[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(5): 159-163.