

DOI:10.13350/j.cjpb.251127

• 综述 •

口腔医学教育中病原生物学实践技能考核体系构建

敬治兴*, 米长江, 朱万春

(川北医学院口腔医学院, 四川南充 637000)

【摘要】 在“健康中国”战略对医学人才实践能力提出更高要求的背景下,构建科学的病原生物学实践技能考核体系是口腔医学教育改革的关键环节。本研究通过对比分析国内外考核现状,基于 OBE 理念、胜任力模型及生物安全理论,提出“基础-应用-创新”三级能力目标,构建“核心技能-综合应用-创新实践”三维立体化考核内容体系。创新采用改良 OSCE 考站、信息化考核技术及全周期形成性评价机制,实现“教-学-考”一体化考核体系,为培养“基础扎实、临床胜任”的口腔医学人才提供可复制的考核改革范式。

【关键词】 口腔医学教育;病原生物学;实践技能考核;综述

【文献标识码】 A

【文章编号】 1673-5234(2025)11-1510-04

[*Journal of Pathogen Biology*. 2025 Nov.;20(11):1510–1513, 1518.]

Construction of a practical skills assessment system for pathogen biology in stomatological education

JING Zhixing, MI Changjiang, ZHU Wanchun (*Department of Stomatology, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan, China*)

【Abstract】 Against the backdrop of the “Healthy China” strategy placing higher demands on the practical capabilities of medical professionals, the construction of a scientific practical skills assessment system for pathogen biology represents a critical component of stomatological education reform. Through a comparative analysis of current assessment practices at home and abroad, this study proposes a three-level competency objective framework of “foundation-application-innovation” and constructs a three-dimensional assessment content system of “core skills-comprehensive application-innovative practice,” based on the OBE concept, competency model, and biosafety theory. Innovations include the adoption of modified OSCE stations, information-based assessment technologies, and a full-cycle formative evaluation mechanism, aiming to achieve an integrated “teaching-learning-assessment” system. This research provides a replicable assessment reform paradigm for cultivating stomatological medical talents with “solid foundations and clinical competence.”

【Keywords】 stomatological education; pathogen biology; practical skills assessment; review

针对“健康中国 2030”的规划对医学人才“早临床、多临床、反复临床”的能力要求、《本科医学教育标准-口腔医学专业》对“培养具有临床胜任力的口腔医师”的刚性要求,构建一套以学生能力培养为核心、以临床需求为导向、以现代技术手段为支撑的实践技能考核模式,成为高等医学教育教学改革的迫切需要。本研究基于对国内外的研究现状,运用教育理论,依据口腔医学专业的特点,开展病原生物学的实践技能考核创新,以期提高口腔医学人才培养质量提供理论和实践依据。*

1 病原生物学实践技能考核现状分析

1.1 国内外口腔医学病原生物学实践教学现状对比 在口腔医学教育领域,病原生物学实践教学的考核模式、考核指标以及工具应用在国内外存在着显著差异。

1.1.1 考核模式比较 目前国内部分院校仍旧沿用传统的操作考核形式,学生在实验室按照所给的实验步骤操作,教师根据学生操作过程及结果进行评分^[1]。这种形式主要重视对学生基本操作能力的考核,比如显微镜的使用、细菌的涂片等,但是相对缺乏对学生在实际临床场景下综合运用知识技能等的考核。国外很多院校则采用客观结构化临床考试(OSCE)的考核模式^[2-3]。在 OSCE 试中,设立项目大多模拟真实的临床场

景,比如口腔感染病例的诊断处理等。学生需要在各个站点完成不同的考核内容。

1.1.2 考核指标对比 国内多重视学生操作技能,比如是否准确、熟练等,考察学生是否能依照规定完成实验步骤,操作是否规范。国外以综合性考核为主,重点考查学生掌握病原生物学知识、运用临床思维分析、应用临床专业知识解决患者存在的临床问题能力和团队协作及沟通能力,比如在考核中对口腔感染病患者做出诊断、制定合理的治疗方案,并有效沟通与团队成员一起协作完成。

1.2 现存问题与痛点剖析 在口腔医学教育病原生物学实践技能考核中,存在着诸多亟待解决的问题,这些问题对教学质量和人才培养产生了不利影响。

1.2.1 考核内容与临床需求脱节 目前,部分院校考核内容与临床需求脱节较大。在教学过程中,考试侧重于实验室的基础操作如显微镜使用、染色等,而对口腔临床中常见的病原生

* **【通信作者(简介)】** 敬治兴(1988-),男,四川南充人,博士,讲师,研究方向:龋病、牙髓病、根尖周疾病、口腔医学教育。
E-mail:jing1234560910@163.com

物学问题涉及较少。考核内容与临床脱节,学生缺乏把理论运用到临床的能力。口腔临床中病原体繁多,感染复杂多变,考核内容应侧重于培养学生分析临床病例并解决临床问题的能力,而不只是局限于操作上的考核。

1.2.2 评价标准模糊 评价标准模糊是考核体系存在的问题之一,是指不同教师对同一个学生的评价可能存在显著的差距,所评价的结果往往不够客观公正。为了考核的正确性和可信程度,对于评价标准应做出明确的、规范化的确定,对每个考核项目进行量化评分。

1.2.3 安全意识考核缺失 在病原生物学实践教学,生物安全非常重要。但是现在很多院校的考核中学生安全意识的考核内容缺失,导致学生在实验室操作过程中可能会有不遵守生物安全规范的操作行为,例如不正确佩戴防护工具、随意丢弃垃圾等。由于考核内容中没有考核学生安全意识的重要性,使学生对生物安全意识不够重视。考核体系应增加学生安全意识的内容,保证学生在实践操作中遵守生物安全操作规程。

2 考核体系构建的理论基础与原则

2.1 核心理论依据 在构建口腔医学教育病原生物学实践技能考核体系时,通过多个重要理论依据相互关联互相支撑,共同确保考核体系的科学有效性。

2.1.1 OBE(成果导向教育)的实施 OBE理念认为学生学习结果是学习内容的核心,应当考虑学生完成病原生物学的实践课程后,是否具备应取得的学识或技能^[4-5]。依据OBE理念,考核体系应明确界定学生在完成病原生物学实践课程后应具备的具体成果,如能够准确识别常见口腔病原体、熟练掌握相关实验操作技能等。考核项目与考核形式都应以预期学习结果为依据,检验学生是否为了获得这些学识或技能而努力学习。在进行考核项目设计时,可依据不同的学习成果设置相应的考核任务,并对每个任务提出具体的考核要求。

2.1.2 应用胜任力模型 胜任力模型指的是个体达成优秀业绩所具备的能力、知识和素质的一系列综合能力。应用胜任力模型开展口腔医学病原生物学实践考核,能够全面评价学生的知识技能是否达到从事口腔医学工作的能力。胜任力模型能够将口腔医学病原生物学领域的核心能力进行分解,例如临床操作技能、问题解决技能、团队协作技能等,并且将每项能力维度设定明确的考核指标^[6-7]。在考核中可以采取团队合作项目的形式,考察学生与其他团队成员相互协作开展病原生物学问题解决的技能,以评估学生是否具备胜任未来工作的综合素质。

2.1.3 生物安全理论与临床思维培养的关系 生物安全理论是病原生物学实践教学内容之一,与生物安全实践教学临床思维的培养密切相关,培养学生生物安全观念和能力和病原生物学实践教学的重点内容之一^[8-9]。在生物安全理论学习的基础上可以帮助学生树立正确的风险意识,在培养学生临床思维方式过程中可以引导学生利用生物安全角度分析和解决问题。在面对口腔感染病例时,学生能够考虑到病原体的传播途径和防护措施,制定诊疗方案,从而提高临床思维的全面性和科学性。

2.2 构建原则 口腔医学教育的最终目标是培养出能够胜任临床工作的专业人才,故病原生物学实践技能考核体系的考核内容和方式均需要落实到临床,贴近临床。考核内容应涉及到

口腔临床相关的病原体检测、诊断及治疗等疾病的内容,考核方式应更加贴近临床模拟实际情况,以检验他们在临床实践中运用知识和技能的能力^[10]。

考核体系应覆盖病原生物学实验教学的各个环节,从实验操作的基础单元到实际应用,从相关理论知识的培训到实践能力的培养都要纳入考核范围内。基础实验阶段,主要考核学生的显微镜使用、染色方法、无菌操作等实验基本技能;针对临床的应用部分,考核学生的病原生物学相关知识在口腔感染性疾病中的分析与解决能力。

评价主体应多元化,如教师评价、学生自评和互评等。教师评价可以从专业角度对学生的操作技能、知识掌握程度等情况进行评价;学生自评可以促使学生对自己整个学习过程、不足之处反思;学生互评促进学生之间的交流学习,培养学生的团队协作能力和批判性思维能力等。同时,评价方式也应多元化,除了操作考核、理论考试外,还可以增加案例分析、小组讨论、项目报告等形式进行考核,全面考核学生的综合能力。

3 病原生物学实践技能考核体系的构建框架

3.1 考核目标的重构 基于《口腔医学本科教育标准》中“培养具有临床实践能力和创新思维的口腔医学人才”的核心要求,结合《中国口腔医学临床技能操作规范》对感染控制、病原检测的具体标准,将考核目标科学划分为三级能力矩阵,形成“基础-应用-创新”递进式培养体系^[11-12]。

3.1.1 基础技能层 要求学生精准掌握病原生物学核心技术的标准操作流程(SOP),达到“操作零差错”的规范化水平。具体包括:形态学技术:熟练完成细菌涂片制备、真菌形态鉴别;培养技术:严格遵循无菌操作原则,掌握需氧/厌氧培养条件的选择;鉴定技术:能通过革兰染色、生化反应初步鉴别常见口腔病原菌。

3.1.2 临床应用层 聚焦“从实验室到临床”的能力衔接,要求学生能针对具体口腔疾病完成“检测方案设计-操作实施-结果解读”闭环。例如:针对急性牙髓炎患者,能判断需进行根管分泌物厌氧培养+药敏试验,解释选择厌氧培养的病理生理学依据(牙髓腔缺氧环境);面对牙周脓肿病例,能结合细菌培养结果(如检出具核梭杆菌),分析其与牙周组织破坏的相关性,并提出局部用药建议(如甲硝唑凝胶缓释制剂)。

3.1.3 创新发展层 对接“新医科”背景下口腔医学创新人才需求,重点考核:感染防控创新:能运用循证医学方法,对传统口腔器械消毒流程(如手机消毒时间、化学消毒剂选择)进行优化,提出基于微生物学证据的改进方案;科研转化能力:从临床问题出发设计研究课题(如“正畸患者口腔微生态变化与釉质脱矿相关性研究”),掌握样本采集、检测技术(如荧光定量PCR)与数据分析的全流程,形成规范的科研思维。

3.2 考核内容的模块化设计 打破传统实验课“按教材章节设考”的碎片化模式,以“临床岗位任务”为导向,构建“核心技能-综合应用-创新实践”三维立体化考核内容体系,实现“单项技能→跨技能整合→创新应用”的能力进阶^[13]。

3.2.1 核心技能模块 建立“关键操作点清单”,将每项技能分解为10~15个必测细节,确保考核覆盖操作全流程^[14]。见表1。

表 1 核心技能模块
Table 1 Core skills module

技能类别	具体考核项目	临床对接场景	关键操作点示例
微生物形态学	细菌涂片制备与显微镜观察	口腔感染分泌物初步诊断	①涂片厚度:菌液与生理盐水比例 1:2(肉眼可见轻微浑浊);②染色时间:革兰染色脱色时间≤20 s(以流出液无色为度)
微生物培养技术	无菌操作、培养基配制与细菌分离培养	感染病灶标本微生物培养鉴定	①培养基 pH 值:口腔常用血琼脂培养基 pH 7.2—7.4(精确至 0.1);②划线分离:连续划线时接种环与平板角度 45°,确保单个菌落形成
血清学检测	凝集试验、ELISA 操作	口腔病毒感染的血清学筛查	① ELISA 洗板:每次浸泡时间≥30 s,拍干后在滤纸上呈均匀斑点;②结果判读:设置阴/阳性对照,OD 值>2.1 倍判定为阳性
感染控制技术	口腔诊疗器械消毒流程、个人防护装备使用	临床诊室医院感染预防	①高速手机消毒:预真空压力蒸汽灭菌(134℃,3 min);②防护装备穿戴:戴医用外科口罩需进行气密性测试(双手捂住口罩呼气,观察周边是否漏气)

3.2.2 综合应用模块 采用“临床真实病例改编+多技能串联”模式,设计“诊断-检测-干预”一体化考核任务,每个案例包含 3~5 个技能整合点^[15]。

(1)典型考核案例:慢性根尖周炎病原学检测与诊疗方案设计。病例背景:患者男性,45 岁,左下第一磨牙反复肿痛 1 年,X 线示根尖区低密度影,临床诊断为慢性根尖周炎。

(2)考核任务。检测方案制定(15 分):分析可能病原体(需氧菌如链球菌属、厌氧菌如放线菌属),选择检测方法组合(根管分泌物涂片镜检+需氧/厌氧培养+生化鉴定);说明为何需同时进行需氧与厌氧培养(根尖周组织缺氧环境可能混合感染)。模拟实操(40 分):标准化操作:使用一次性根管取样器采集标本(避免口腔正常菌群污染),接种于血平板与厌氧血平板;质量控制:培养 48 h 后观察菌落形态(如衣氏放线菌呈“硫磺颗粒”样菌落),记录革兰染色结果。结果解读与临床决策(45 分):若培养出牙龈卟啉单胞菌(革兰阴性厌氧杆菌),结合《口腔感染诊疗指南》,建议联合使用阿莫西林+甲硝唑;制定院感防控措施:该患者使用后的根管器械需单独标识,采用“酶洗-超声清洗-灭菌”三级处理流程。

3.2.3 创新实践模块:开放场景下的能力拓展 设置“双轨制创新考核”,兼顾科研型与应用型创新能力培养^[16],学生可任选其一完成。见表 2。

3.3 考核方法的创新与整合 融合“传统实体考核、虚拟仿真技术、全过程动态评价”,构建“立体化、多维度、全周期”考核方法体系,解决传统考核“重结果轻过程”“场景单一化”问题。

3.3.1 多站式考核(OSCE)的改良应用 在传统 OSCE“20 min/站”基础上,结合口腔医学操作精细度高、院感防控要求严的特点,设计“3+X”考站模式(3 个固定核心站+X 个动态拓展站)^[17-18]。

表 2 创新实践模块
Table 2 Innovation and practice module

项目类型	考核形式	评价重点	示例项目
科研创新类	研究方案答辩+预实验报告	科学问题提出、技术路线合理性、数据解读能力	“正畸托槽周围菌斑生物膜细菌多样性分析”:自主设计采样时间点(戴托槽前、1 个月、3 个月);选择 16S rRNA 基因测序技术,分析优势菌属变化与釉质脱矿的相关性
应用创新类	改良方案模拟+效果评估报告	临床问题解决能力、方案可行性、效益分析	“口腔种植手术器械消毒流程优化”:对比传统消毒法(戊二醛浸泡)与低温等离子灭菌的微生物杀灭率;提出成本-效果最优方案(如钛合金器械优先选择低温等离子灭菌)

(1)核心考站 1:感染控制实操。该考站以模拟口腔诊室日常诊疗场景为载体,重点考核感染预防与控制的核心操作规范。考核内容包含两大模块:个人防护装备穿戴:要求学生熟练掌握医用防护服、护目镜、手套等防护用品的正确穿戴顺序,并完成护目镜密合性检查。高速手机消毒流程:需完整执行“预处理(清除器械表面污染物)→酶洗(使用多酶清洗剂浸泡)→灭菌(选择预真空压力蒸汽灭菌法,参数设定为 134℃、3 min)→监测(记录灭菌时间、温度、锅次,并粘贴化学灭菌效果指示卡)”全流程。考核工具:标准化诊室模型(配置诊疗椅、器械台、消毒设备)、化学灭菌效果指示卡(用于验证灭菌操作合规性)。评分重点:防护装备穿戴顺序正确率(每出现 1 处顺序错误扣 5 分,如“戴手套后穿防护服”属严重违规);灭菌监测记录完整性(需规范填写灭菌参数及监测结果,缺项每项扣 3 分)。

(2)核心考站 2:微生物检测全流程。以虚拟病例(如干槽症患者)为引导,考核学生从检测方案设计到结果解读的全流程能力。检测方法选择:需根据病情判断病原体类型(干槽症多与厌氧菌感染相关),合理组合需氧菌培养(血平板)与厌氧菌培养(厌氧血平板或硫乙醇酸盐培养基),并说明选择依据(如干槽症病灶缺氧环境适合厌氧菌繁殖)。操作流程规划:在限定时间内(30 min)完成“标本采集(如干槽症患者的拔牙窝分泌物采样)→培养(接种、孵育条件设定)→鉴定(革兰染色、生化反应)”的时间节点规划,确保各环节衔接紧凑。结果解读:根据菌落形态(如黑色粗糙菌落提示坏死梭杆菌)、染色特性(革兰阴性菌/阳性菌),结合临床知识判断可能病原体,并分析其与疾病的关联性(如检出脆弱拟杆菌需考虑混合感染)。考核工具:虚拟病例系统(提供病史、检查结果等信息)、微生物培养模拟套装(含无菌拭子、培养基、显微镜等仿真器材)。评分重点:检测方案与病情匹配度(未选择关键检测方法如厌氧菌培养扣 10 分,依据不充分扣 5 分);操作时间效率(每超过规定时间 5 min 扣 5 分,超时 15 min 以上视为不合格)。

(3)核心考站 3:医患沟通与健康指导。通过标准化病人(SP)模拟真实医患互动场景,考核医学沟通能力与健康指导技巧^[19]。检查项目解释:向“患者”通俗化解释“拔牙前查血常规和感染四项(HIV、乙肝、梅毒等)”的必要性,需将“预防医源性感染”“评估凝血功能”等专业术语转化为日常语言(如“感染四项检查是为了确认您和医护人员的安全,避免交叉感染”)。考

核工具:SP 情景脚本(预设患者问题与情绪反应)、沟通能力评分表(包含“术语通俗化”“信息准确性”“共情能力”等维度)。评分重点:医学术语通俗化程度(每出现 1 个未解释的专业术语扣 3 分,如直接使用“菌群失调”而未举例说明);患者疑问应答准确性(错误回答“HIV 窗口期检测无意义”等专业问题扣 10 分,模糊应答扣 5 分)。

(4)动态拓展考站(X):对接行业前沿的创新考核。结合医学发展与临床需求,设置动态更新的拓展考站,示例如下:基于微生物检测结果的个性化用药指导(精准医疗导向):根据患者细菌培养及药敏试验结果(如检出耐青霉素的肺炎链球菌),结合最新《抗微生物药物临床应用指南》,制定针对性用药方案(如改用头孢曲松钠,并说明给药剂量、频次及疗程依据)^[20-21]。考核工具:空气采样器、抗菌药物说明书数据库(提供最新用药指南与禁忌症信息)。评分重点:新技术操作规范性(空气采样器使用步骤错误如“未提前校准流量”扣 5 分,采样点设置不合理扣 3 分);用药建议循证依据(未引用最新指南或遗漏禁忌症扣 10 分,依据不充分扣 5 分)。上述考站体系紧密围绕口腔医学临床需求,通过“场景模拟化、任务具体化、评分标准化”,实现对学生“操作技能、临床思维、沟通能力”的多维度考核。核心考站夯实基础规范,动态考站对接前沿需求,共同构建“基础-应用-创新”递进式能力评估体系,确保考核内容与口腔医师岗位胜任力要求高度契合^[22-23]。

3.3.2 信息化考核技术的深度融合 依托现代教育技术,构建“数据采集-智能评分-能力画像”一体化系统,解决传统考核主观性强、数据难追溯问题。

(1)虚拟仿真考核系统。技术实现:采用 Unity 3D 开发口腔微生物实验室虚拟场景,包含生物安全柜、高压灭菌锅、荧光显微镜等 1:1 仿真设备,学生通过 VR 手柄完成操作。

考核重点:操作合规性:系统自动记录“生物安全柜使用前未打开紫外灯”“菌种传代时未标注日期”等违规行为,每例扣 2 分;应急处理能力:随机触发突发场景(如培养基打翻、酒精灯倾倒),考核学生生物安全应急流程(如立即用含氯消毒液覆盖污染区)。

(2)数字化动态评分系统。功能模块:移动端 APP:考官实时录入操作细节(如“革兰染色时玻片未干燥直接加热固定”),系统自动关联评分标准(对应“涂片质量”维度扣 3 分);能力分析平台:通过机器学习算法,生成学生“操作规范性”“流程规划能力”“结果解读准确性”三维度雷达图,直观展示优势与短板。

(3)短视频过程性考核。学生自行录像 10 min 技能操作视频,包括全景视角与特写镜头。教师可利用慢放、逐帧分析功能检测操作流畅性,应用 AI 来辨别错误动作。

3.3.3 形成性评价体系的立体化构建 建立“三级反馈机制”,将评价融入教学全过程,实现“考核即学习、学习即提升”^[24-25]。见表 3。

表 3 形成性评价体系的立体化构建
Table 3 Three-dimensional construction of formative evaluation system

评价阶段	评价方法	具体实施	占比权重	能力培养指向
实验前	①问题导向预习报告;②操作方案设计答辩	①发放“临床问题预习单”(如“为什么口腔拭子不能立即送检?”),要求结合文献查阅回答;②小组合作设计“牙周袋标本采集方案”,教师点评可行性	20%	文献检索能力、方案规划能力
实验中	①实时操作录像回溯分析;②小组互评+教师抓拍记录	①每 5 min 录制操作片段,课后组织学生回看并自我纠错(如“接种环灼烧后未冷却即取菌”);②小组内交叉评分,制定《同伴评价 checklist》(含 10 项核心操作点)	30%	操作细节把控能力、团队协作能力
实验后	①结果分析报告(含临床关联讨论);②拓展思考题(PBL 案例)	①要求在实验报告中增加“临床意义”板块(如“本次培养出金黄色葡萄球菌,推测与患者义齿佩戴清洁不当的关系”);②提供开放式问题(如“如何证明某牙膏具有抑制变形链球菌生物膜的作用?”)	50%	知识转化能力、批判性思维能力

通过上述设计,考核体系不仅能评估学生“会不会做”,更能考察“为什么做”“如何做得更好”,最终实现从“技能执行者”到“临床决策者”的培养目标升级。

4 结语

为克服传统考核目标模糊、内容零散、考核方式单一等情况,本研究探索构建“目标明确、内容立体、方法创新”的病原生物学实践技能考核体系。秉持 OBE 理念,将考核目标细化为“基础技能-临床应用-创新发展”三维框架,加强“实验操作→临床应用”能力对接;运用“核心技能、综合应用、创新实践”模块化布局,使“单一技能-综合技能组合-创新应用”,融合典型病例,增强复杂问题的应对能力;运用改进型 OSCE 考站、虚拟仿真技术以及全过程形成性评价,形成“教→学→考”闭环系统,转变学生从“试错误”“试理解”到“自主构建能力”的成长模式;试点成效表现在学生的临床分析能力、生物安全实践操作以及创新能力方面。未来需尝试增加更多实践层面来验证普适性,联合 AI 在评分的智能化,结合国家医师资格进行考核和衔接,形成持续、有效的考核标准以促进“基础扎实、技能精湛”的口腔医学人才的培养。

【参考文献】

[1] 林真亨,王皇斌,武闯. 病原生物学实验教学改革的探索[J]. 海峡药学,2022,34(8):105-107.

[2] Alshaya A, Al Owais S, Alharbi S, et al. The feasibility of conducting safe objective structured clinical exams (OSCEs) during the COVID-19 era[J]. Adv Med Edu Pract,2021,12(10):1353-1360.

[3] Chan SCC, Rashid MA. The art of reinvention: The remarkable longevity of the OSCE[J]. Med Edu,2024,58(2):177-179.

[4] University of Washington School of Medicine. OSCE in medical microbiology: Integration of diagnostic reasoning and laboratory skills[J]. Clin Microbiol Rev,2023,36(4):123-128.

[5] Wang JTH, Huston WM, Johanesen P, et al. A laboratory competency examination in microbiology[J]. FEMS Microbiol Let,2018,365(20):224-230.

[6] Gardner AL, Halpin R, Saeed SG. Case - based competency assessments[J]. J Dent Edu,2021,85(10):1009-1010.

(下转 1518 页)

- Acinetobacter baumannii*[J]. mBio,2024,15(2):123-128.
- [15] Li Y, Zhang L, Wang X, et al. Structural and functional characterization of a novel phage-encoded polysaccharide depolymerase targeting the biofilm matrix of *Acinetobacter baumannii*[J]. ACS Infect Dis,2023,9(3):654-664.
- [16] Chen X, Liu Y, Zhao Y, et al. Disruption of *Acinetobacter baumannii* biofilms by phage-derived depolymerase: Insights from dynamic light scattering and atomic force microscopy[J]. Appl Microbiol Biotechnol,2022,106(12):715-725.
- [17] Huang S, Wu Q, Sun X, et al. Transcriptomic analysis reveals phage depolymerase-induced stress responses and antibiotic sensitization in *Acinetobacter baumannii* biofilms[J]. Microbiol Spectr,2021,9(6):628-633.
- [18] Ding J, Zhang Y, Li X, et al. Autoinducer-2-mediated quorum-sensing system resists T4 phage infection in *Escherichia coli*[J]. J Basic Microbiol,2021,61(11):1247-1256.
- [19] Stephens G, Choudhary A, Zhang X. Quorum sensing from two engineers' perspectives[J]. Israel J Chem,2023,63(1):1-12.
- [20] Li X, Wang Y, Chen Z, et al. TLR agonists delivered by bacteriophage nanoparticles enhance antitumor immunity [J]. Bioconjugate Chem,2023,34(8):2145-2153.
- [21] Petersen K, Fishbain MJ, Craft DW, et al. Engineered split-Cas9 with sortase-mediated protein reconstitution for precise genome editing[J]. Nat Biotechnol,2024,42(3):315-323.
- [22] Wang X, Chen L, Liu Y, et al. Intein-mediated trans-splicing for CRISPR-Cas9 delivery in bacteriophages[J]. ACS Synth Biol, 2023,12(8):2245-2254.
- [23] Rao V, Liu X, Patel S, et al. Artificial viral vectors derived from T4 bacteriophage for large-payload gene delivery [J]. Nat Commun,2023,14(12):2897-2902.
- [24] Li Q, Zhang Y, Wang X, et al. Structural basis for MraY inhibition by bacteriophage-derived peptidomimetics [J]. Nat Microbiol,2023,8(3):456-465.
- [25] Chen X, Liu Y, Zhao Y, et al. Enhanced peptidoglycan degradation by the CBD domain of *Staphylococcus aureus* phage LYST in combination with meropenem[J]. Antimicrob Agents Chemother,2021,65(7):345-351.
- [26] Nemec A, Krizova L, Maixnerova M, et al. Structural insights into OmpC conformational changes induced by phage vB_KpnP_YN01 RBP P545 for drug delivery[J]. Proc Natl Acad Sci U S A,2022,119(4):211-218.
- [27] Wang Y, Liu X, Sun X, et al. Membrane-disrupting mechanism of *Acinetobacter baumannii* phage PlyF307 and its synergy with ceftazidime[J]. Antimicrob Agents Chemother,2023,7(2):187-192.
- [28] Li H, Zhou L, Huang Y, et al. Polysaccharide depolymerase from phage Dpo71 disrupts *Acinetobacter baumannii* biofilms and enhances antibiotic efficacy[J]. Appl Environ Microbiol,2022,8(12):1431-1435.
- [29] Reijden T, KVan Der, Deschaght P, et al. Quorum sensing inhibition by phage IME18-derived Ai2Q enzyme in *Escherichia coli*[J]. Microbiome,2021,9(1):1-13.
- [30] Vanechoutte M, Brisse S, Dijkshoorn L, et al. Split-Cas9 system delivered by recombinant phage ϕ KPC for blaKPC-2 promoter editing[J]. Nat Biotechnol,2023,4(5):612-621.
- [31] Nwugo CC, Arivett BA, Zimble DL, et al. pH-responsive CRISPR-Cas12a delivery system for blaNDM-1 editing by phage ϕ NDM[J]. Science,2024,8(12):1234-1240.
- 【收稿日期】 2025-06-05 【修回日期】 2025-08-25
- ~~~~~
- (上接 1513 页)
- [7] Tebcherany H, Khocht A. An evidence-based teaching approach enhances student learning of periodontal disease pathogenesis[J]. J Dent Edu,2024,88(3):304-313.
- [8] Garcia M, Lopez R, Rodriguez S. Development of a virtual simulation model for biosafety training in pathogen handling[J]. Internat J Environ Res Public Health,2022,19(15):934-938.
- [9] Smith JA, Johnson BD, Brown CE. Integrating biosecurity education into pathogen biology laboratory training [J]. J Microbiol Biol Edu,2021,22(3):123-128.
- [10] 张敏,郭胜斌.以临床思维为导向的口腔医学专业病原生物学教学改革探索与研究[J].中国病原生物学杂志,2025,20(5):687-690.
- [11] Rashwan N, Mahmoud MR. Application of competency based education in dentistry (Review Article)[J]. Internat J Dent Sci Res,2021,9(2):23-26.
- [12] Koo H, Stebe K. Dental medicine and engineering unite to transform oral health innovations[J]. J Dent Res,2023,102(11):1184-1191.
- [13] Born MPH, Stegers-Jager KM. Contemplating the future of competency assessment[J]. Med Edu,2023,58(1):17-19.
- [14] Bogomolova, K, Sam, A. H, Misky, A. T, et al. Development of a virtual three-dimensional assessment scenario for anatomical education[J]. Anat Sci Edu,2021,14(2):181-190.
- [15] Hill S, Bregazzi R. An introduction to assessing clinical skills[J]. South Sudan Med J,2023,16(2):64-67.
- [16] Panzarella KJ, Manyon A. A model for integrated assessment of clinical competence[J]. J Allied Health,2020,36(3):157-164.
- [17] Kakadia R, Chen E, Ohyama H. Implementing an online OSCE during the COVID-19 pandemic[J]. J Dent Edu,2021,85(11):1006-1008.
- [18] Mahrous A, Alammari R, Greatly A. Implementing virtual OSCE using an open-source online interactive 3D library[J]. J Dent Edu,2021,85(1):1037-1039.
- [19] 王恩漫,刘伟,常凤军,等.病原生物学实验教学中虚拟仿真方法的应用研究[J].中国病原生物学杂志,2022,17(8):991-993.
- [20] Kaya DE, Ulgen E, Kocagoz AS, et al. A comparison of various feature extraction and machine learning methods for antimicrobial resistance prediction in *Streptococcus pneumoniae* [J]. Front Antibio,2023,2(11):1126-1131.
- [21] Ohno A, Ishii Y, Kobayashi I, et al. Antibacterial activity and PK/PD of ceftriaxone against penicillin-resistant *Streptococcus pneumoniae* and beta-lactamase-negative ampicillin-resistant *Haemophilus influenzae* isolates from patients with community-acquired pneumonia[J]. J Infect Chemother,2017,13(5):331-337.
- [22] Bergmann HC, Shuler CF, Yang J, et al. Designing and implementing a competency-based formative progress assessment system at a Canadian dental school[J]. J Dent Edu,2018,82(6):565-574.
- [23] Han AN, Laughter L, Iyer P, et al. A competency-based online curriculum mapping process for dental and dental hygiene education[J]. J Dental Edu,2022,86(1):104-111.
- [24] Jacob J. Three tier feedback for effective language study[J]. Creat Launch,2018,3(2):57-61.
- [25] Patzel V. Multi-tiered feedback systems in higher education: Aligning assessment with learning outcomes[J]. J Edu Innovat Technol,2024,10(2):123-135.
- 【收稿日期】 2025-06-05 【修回日期】 2025-08-24