

医工融合视域下检验医学研究生协同育人体系的构建与实践

陈星瑞¹, 解春宝², 钟佳伶², 刘鑫², 胡洪华², 赵太强², 龚波^{1,2}, 肖培宏^{1,2}

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院) 临床医学检验中心, 四川 成都 610072

【摘要】 传统检验医学人才培养长期侧重于临床技能与检验技术的训练, 忽视了对学生工程思维与跨学科创新能力的培养, 难以满足新医科背景下对复合型、创新型人才的迫切需求以及 IVD 产业升级带来的人才结构变化。针对上述问题, 电子科技大学医学院以医工深度融合为核心, 系统构建了检验医学研究生“医教研产”协同育人体系。通过设置医工交叉特色课程、推行成果导向的项目式教学、搭建“医教研产”协同创新平台等改革措施, 有效推动了学科交叉与产教融合。实践表明, 该体系在人才培养质量与科研创新产出方面均取得显著成效, 毕业生从单一技能型向复合创新型转变, 人才供给质量实现跨越式提升, 为检验医学研究生教育改革提供了可借鉴的理论框架与实践路径。

【关键词】 检验医学; 医工结合; 教学改革; 协同育人; 研究生教育

【中图分类号】 R446; G646

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)05-0044-05

Construction and practice of a collaborative education system for graduate students in laboratory medicine from the perspective of medicine-engineering integration CHEN Xing-rui¹, XIE Chun-bao², ZHONG Jia-ling², LIU Xin², HU Hong-hua², ZHAO Tai-qiang², GONG Bo^{1,2}, XIAO Pei-hong^{1,2} 1. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. Clinical Laboratory Medicine Center, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China

【Corresponding author】 XIAO Pei-hong, GONG Bo

【Abstract】 Traditional training in laboratory medicine has long focused on clinical skills and laboratory techniques. It has neglected the development of students' engineering thinking and interdisciplinary innovation abilities. This is difficult to meet the urgent demand for interdisciplinary and innovative talent in the context of the New Medical Science as well as the shifts in workforce composition driven by the upgrading of the in vitro diagnostics (IVD) industry. In response to above problems, a collaborative training system for graduate students in laboratory medicine has been established by the School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China. The training system is a collaborative education system integrating medicine, education, research, and industry based on the core of deep integration of medicine and engineering. Through reform measures such as establishing specialized interdisciplinary courses combining medicine and engineering, implementing outcome-oriented project-based learning, and building collaborative innovation platforms integrating medicine, education, research, and industry, interdisciplinary integration and the fusion of industry and education have been effectively promoted. Practice has demonstrated that this system has achieved remarkable results in both the quality of talent cultivation and scientific research innovation output. Graduates have transitioned from possessing single-skill profiles to become multi-disciplinary innovators. The quality of the talent supply has seen a leap-frog improvement. The approach has provided a theoretical framework and practical pathway that can serve as a reference for the reform of postgraduate education in laboratory medicine.

【Key words】 Laboratory medicine; Medicine-engineering integration; Teaching reform; Collaborative education; Graduate education

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目(编号:84272381); 四川省自然科学基金杰出青年科学基金项目(编号:2024NSFJQ0037); “癌症、心脑血管、呼吸和代谢性疾病防治研究”国家科技重大专项项目(编号:2025ZD0551200); 电子科技大学研究生教研教改项目(编号:2026031001)

【通讯作者简介】 肖培宏, 男, 博士, 研究员, 硕士研究生导师。天府峨眉计划青年人才项目入选者, 四川省自然科学基金杰出青年基金获得者。中国医学装备协会 POCT 装备技术分会委员, 四川省医学会精准医学专业委员会青年委员会副主任委员, 四川省卫生健康英才计划中青年骨干人才。主要从事疾病诊疗一体化探针及微纳米技术与生物传感在体外诊断领域中的应用研究。

【共同通讯作者简介】 龚波, 男, 博士, 教授, 博士生导师。中华医学会健康管理学分会青年学组副组长, 四川省医学会健康管理学分会副主任委员, 国家药品监督管理局医疗器械技术评审专家, 四川省“峨眉计划”专家, 第十三批四川省学术和技术带头人, 电子科技大学百人计划入选者, 哈佛大学访问学者, 四川省杰出青年基金获得者, 中国科学院“西部之光”青年学者。主要从事疾病致病机理和分子诊断的临床研究工作。

党的二十届三中全会强调教育、科技、人才是中国式现代化的基础性、战略性支撑, 并对深化教育领域综合改革作出系统部署^[1]。高校作为人才培养与科技创新的主体, 应持续推进教育教学改革, 提高教学质量。新医科理念明确提出要推进“医学+X”多学科背景的复合型、创新型人才的培养, 为检验医学等医学学科的教育教学改革提供了

明确的理论指引^[2]。检验医学作为临床医学的重要支撑学科,在疾病诊断、治疗监测、预后评估及健康管理等环节中发挥着不可替代的作用。该学科本身具有较强的交叉属性,与信息科学、工程科学、材料科学等领域存在广泛而深入的融合空间。近年来,随着人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术的迅猛发展,医工结合持续深入,检验医学领域正经历深刻的智能化变革:检验流程日趋自动化与智能化,智慧检验实验室已成为行业发展的重要趋势^[3~5]。这一趋势不仅重塑了检验医学的技术体系,也对人才培养提出了全新要求——未来的检验医学人才不仅需要具备扎实的医学基础和临床检验技能,更应掌握必要的工学与信息科学知识,具备跨学科整合与技术创新的能力^[6,7]。

然而,当前我国检验医学研究生培养体系在课程设置、实践平台及跨学科融合机制等方面仍存在明显局限,难以适应医工结合发展趋势及行业转型升级的迫切需求。因此,打破传统学科壁垒,构建面向医工融合的复合型检验医学人才培养体系,已成为新时代医学教育改革的紧迫任务。基于此,本文主要介绍电子科技大学医学院(以下简称“我院”)以医工结合为导向、探索复合型与创新型检验医学研究生培养模式的改革实践,旨在为检验医学学科建设与教育教学创新提供可借鉴的思路与方法,助力新医科背景下学科融合与教育高质量发展。

1 检验医学医工结合的必要性

1.1 医工结合是检验医学发展的必然趋势 为实现 2035 年建成教育强国的战略目标,《教育强国建设规划纲要(2024~2035 年)》已将深化新医科建设与推进医工融合确立为高等教育改革的核心任务之一,明确指向了未来医疗健康领域对高层次复合型、创新型人才的迫切需求。长期以来,检验医学人才培养方案大多是围绕生物标志物检测或者疾病发展机制研究,以临床医学基础课程、检验技术和仪器操作为核心课程架构。培养目标主要侧重于使学生掌握检验医学相关的基础知识与实验技能,成为能够独立完成检验流程的检验技师^[8]。忽视了对学生工程思维、跨学科知识整合及创新能力的培养,无法满足教育强国战略下对复合型、创新型检验医学人才的需求。因此,推动检验医学教育实现医工结合,构建检验医学研究生医工结合协同育人体系是实现国家战略、引领产业未来、推动专业自身可持续发展的必然选择与紧迫任务。

1.2 检验医学就业结构变化及产业市场发展需求 目前,检验医学毕业生的就业形势不断变化,不仅可以就业于医院检验科、疾病预防控制中心、独

立医学实验室、采供血机构,还可以就业于体外诊断(in-vitro diagnosis, IVD)企业和第三方检测机构。但随着医疗行业的迅速发展,新型检验技术和检验设备层出不穷,如全自动检验流水线、智慧形态学阅片系统、新型即时检验与智能传感平台等。医疗行业对传统检验技师岗位的需求大幅缩减,检验医学毕业生岗位竞争加剧,就业形势面临严峻挑战。

2020 年新型冠状病毒疫情发生后,以病毒检测试剂、设备为代表的体外诊断行业呈井喷式增长,中国 IVD 行业市场规模达到 1075 亿元,预计到 2030 年,将增长至 2881.5 亿元,成为全球最大 IVD 产品消费国^[9,10]。IVD 行业迅猛增长,已经成为检验医学产业的新风口。IVD 企业相关岗位需求增加,为检验医学毕业生提供了多元化的就业选择,有效拓宽了检验医学毕业生的就业路径。

完整的 IVD 产业链包括上游、中游、下游:上游主要是研发、生产试剂核心原料和核心元器件等原材料的企业,中游主要是制造诊断试剂和设备的企业,下游主要是医院检验科、第三方检测机构、体检中心等^[9]。传统的检验医学研究生培养体系主要针对下游领域,忽视了上游、中游企业对懂医学、精技术复合型检验人才的需求。将医工结合融入检验医学研究生培养,不仅能使学生掌握临床检验知识,还具备工学相关知识与技术。学生不再只是单一环节的技术员,而是能理解临床痛点、参与上游研发设计、推动中游技术转化的核心桥梁。未来具备专业医学背景,又了解工学相关知识的医工结合型高级专业人才将成为检验医学产业市场的引领者。但目前缺乏对该类型人才的培养,难以充分满足检验医学产业升级与市场发展的迫切需求。

2 医工结合在检验医学人才培养中面临的问题

2.1 医工结合起步较晚,人才培养经验不足 从 20 世纪 70 年代医工结合概念提出开始,哥伦比亚大学、麻省理工学院、哈佛大学等世界顶尖研究型大学便开始投资进行医工结合人才培养模式的探索,构建了许多医工结合研究平台^[11,12]。相对于国外依靠工业基础和两次生命科学革命的长期积累,中国在医工结合领域的教育教学改革与体系建设起步较晚,基础比较薄弱^[13]。1980 年末清华大学、北京大学设立医学工程学科,标志着我国高校医工结合教育的开始。2000 年左右部分工科院校聚焦于医用材料等前沿方向开展跨学科合作,为医工结合的发展奠定了初步基础^[14]。截至目前,我国医工结合教育仍处于探索阶段,存在教育体系不够顺畅,相关机制不够健全等问题,暂未形成系统的教育理念及完整的人才培养体系。随着国家一系列

促进医工结合的政策出台,检验医学应顺应多学科交叉发展趋势,高校应不断探索人才培养体系,建设医工结合创新基地,以促进检验医学的学科发展与技术创新。

2.2 医工结合深度不够,结合思路不够清晰 医学与工学作为重要的基础学科,知识体系庞大,复杂性高,其学科思维方法存在本质差异。医学注重临床经验的积累、疾病病理生理机制解析与个体化诊疗;而工学则强调模型的构建、技术的可重复性与系统的优化设计。要真正解决医工交叉领域的问题,不仅需要跨学科知识储备,还必须具备在医、工两种思维方式间自由切换的医工交叉型思维方式^[15]。因此在有限的研究生培养周期内,很难培养出既精通检验医学知识和工学知识,同时又能将两种思维融会贯通的检验医学人才。目前,医工结合教育仍以传统学科框架为主,缺乏学科间系统的融合性设计,医工结合的思路不是很清晰。如何在课程体系、培养目标和考核方案设计中将医工结合有机结合起来,是检验医学亟待解决的重要问题之一。

2.3 教学方式单一,师资力量不足 在教学方法上,传统的课堂讲授和实验教学仍占主导,难以支撑医工结合所需的探究式、项目式、团队式学习;教学场景局限于医院检验科与传统实验室,与 IVD 企业的研发中心、工程化平台等连接薄弱。且开设临床检验诊断学专业的院校多为医学类院校,具有医工结合背景的导师不足,也普遍缺少来自 IVD 企业的实践型产业导师,无法对学生进行联合指导,限制了检验医学医工结合的发展。

3 医工结合协同育人体系的改革措施

我院以临床检验技术为根基,聚焦检验新技术、新方法的研发需求,以医工学科交叉与“医教研产”深度融合为路径,构建了检验医学研究生医工结合协同育人体系。该体系本质上是一种以临床需求为导向,通过学科交叉与产教融合将工学思维、工程技术及产业要素系统融入研究生培养全过程的整合性模式,旨在全面提升学生的科研创新与实践应用能力。围绕这一模式,我院从课程体系、教学方式、师资队伍及“医教研产”协同创新平台四个方面系统推进改革,具体措施如下:

3.1 课程体系的改革 我院是临床检验诊断学硕士学位及博士学位授权点,可为本研究提供较为丰富且高质量的研究生源。在研究生课程体系设计上,着力推进医学与工学的深度交叉融合,构建了具有鲜明医工交叉特色的课程体系。课程体系设置基础知识与医工融合两个递进式培养模块,旨在系统提升检验医学研究生跨学科知识整合与创新

能力。在基础知识模块,研究生须完成医学院临床检验诊断学的全部必修课程,筑牢专业理论根基;在此基础上,开设工学院的选修课程,如《人工智能》、《数据科学》、《机器学习》等,为后续研究生进行医工融合课程的学习奠定了必要的工学知识基础。在医工融合模块,构建了覆盖人工智能、柔性电子、拓扑数据分析等前沿方向的跨学科融合课程。以《人工智能与智慧医疗》和《面向医疗与人机交互的柔性电子集成技术》课程为例,前者系统讲授人工智能的发展历史、核心概念与基础方法如机器学习、深度学习等关键算法的原理,并结合实际案例探讨人工智能在疾病辅助诊断、治疗技术优化等方面的应用,培养学生运用智能技术解决医学问题的能力;后者聚焦于柔性电子的基本原理与材料特性,阐述其在医疗监测、可穿戴医疗设备与智能交互系统中的具体应用,并指导学生掌握相关功能材料的设计与制备方法,提升其在医工结合领域的实践创新能力。通过此类结构化、系统化的课程设计,旨在打破学科壁垒,促进知识融合,为检验医学研究生的培养注入鲜明工学特色,为其从事高水平医工结合研究奠定坚实的理论与技术基础。

3.2 教学方式的改革

3.2.1 以成果导向教育理念为教学指导 全面贯彻成果导向教育(outcome-based education, OBE)理念,坚持以学生为中心,以医工结合成果为导向,持续优化教学目标、教学内容与评价体系,确保教学活动始终围绕医工结合型检验医学研究生培养有效开展。

3.2.2 项目式教学 开展项目式教学,在课程和科研训练中围绕临床真实的医工交叉问题设计综合性项目,如新型诊断技术研发、医学数据分析模型构建等。研究生以团队形式进行项目研究,共同完成从需求分析、方案设计、技术实现到结果评估的全过程。通过跨学科项目的设计,让研究生在解决问题的过程中综合应用医学和工学知识,培养其跨学科思维、实践能力和团队协作能力。

3.2.3 以赛促学 积极组织并引导研究生参加“互联网+”、“挑战杯”、全国大学生生命科学创新创业大赛等学科竞赛与创新创业活动。通过竞赛任务调动研究生学习的积极性和主动性,激发研究生的创新潜能和科研热情,并在实践中快速提升应对复杂挑战的综合素养。

3.3 师资队伍的建设 基于电子科技大学在信息与工程学科的综合优势,我院与自动化工程学院、信息与通信工程学院、电子科学与工程学院等建立深度合作机制。共同搭建医工结合型检验医学研

研究生培养平台,为实现跨学科教学与科研提供了坚实的师资力量与条件保障。系统推行双导师制,为每名检验医学研究生配备一名医学导师与一名工学导师。并且为强化双导师协同指导的深度与实效,我们建立了贯穿研究生培养全过程的质量保障机制。一是培养计划共定,每学期初由双导师共同制定针对研究生的个性化培养方案,明确职责分工与阶段性任务。二是关键环节共管,选题、开题、中期和答辩均由双导师共同负责,确保研究方向既立足于临床实际需求,又融合工程技术前沿,从而有效推动医学与工学的深度融合。三是定期进行沟通反馈,双导师每两周至少举行一次线下联合指导会,就科研难点、方向调整等问题进行讨论,确保指导的及时性与连贯性。通过医学院和工学院联合培养不仅提升了研究生交叉学科的知识整合能力、临床问题的解决能力,更促进了医学与工学导师间的学术交流与科研合作,逐步形成稳定、开放、协同的交叉创新育人体系。

3.4 搭建“医教研产”协同创新平台 积极促进医院、高校、科研院所、产业之间建立深度合作,将实践培训、教育教学、科研创新、产业开发结合起来,为医工结合型检验医学研究生的培养提供创新实践平台。研究生在完成医学院与工学院课程学习的同时,进入四川省人民医院临床医学检验中心完成实践学习,在临床基础检验组、血液组、生化组、免疫组、微生物组和分子诊断组等进行系统轮转。通过在医院的实践学习,研究生可掌握临床检验各亚专业的核心理论及基本技术原理,熟练使用仪器,并提升独立检测临床项目的能力。同时积极拓展与智能 IVD 企业、智慧检验医学实验室、医学大数据与人工智能科技公司等产业实体的战略合作,共同建立一批高水平的产业实习与实践基地。研究生可深度参与企业在仪器研发、系统集成、数据分析等方面的真实项目,从而在产业一线接触技术前沿、理解行业生态、锻炼工程思维。

4 教学成果

4.1 研究生培养 我院以医工结合为切入点,对检验医学研究生培养新模式进行了系统探索与实践。新措施实施之后,研究生的培养质量得到了显著提升。近五年,我院共培养临床检验诊断学硕博生 61 名,其中硕士研究生 53 名,博士研究生 8 名。就业率达 100%,就业质量稳步提高。学生创新实践方面,获“互联网+”大学生创新创业大赛三等奖 1 项。毕业研究生在临床创新、技术研发和跨学科协作中展现出突出优势,普遍受到用人单位的高度评价和认可。检验医学研究生医工结合协同育人体系有

效响应了新时代检验医学领域对高层次复合型人才的需求,成功向社会输送了一批兼具医学思维、工程能力与创新潜质的专业人才,为检验学科发展与行业进步提供了有力支撑。

4.2 科研成果 近五年间,团队围绕检验医学领域重点和难点开展基础和临床研究、技术转化和推广。研究团队共发表学术论文 400 余篇,其中 SCI 论文 360 余篇(总影响因子超过 2323,累计引用近 3200 次,单篇最高影响因子 69.5,单篇最高 SCI 他引 316 次),学科带头人连续十年(2014~2023)入选中国高被引学者。2017 年入选国家科技部“重点领域创新团队”,2019 年入选中国医学科学院院外创新单元,2021 年团队首获国家自然科学基金创新研究群体项目,直接资助经费 1000 万元。团队研究成果先后荣获国家科技进步二等奖 2 项,谈家桢生命科学创新奖 1 项,吴阶平-保罗·杨森医学药学奖 1 项,四川省科技进步一等奖 3 项、二等奖 2 项、三等奖 6 项,获批国家级项目 40 余项;获得国家发明专利授权 20 余项,成果转化金额近 2000 万元。

5 总结与展望

电子科技大学医学院始终秉持“精医博工,明德济世”的院训,以此为价值引领,致力于培养兼具深厚医学素养、卓越工程能力与社会责任感的复合型人才。在检验医学研究生培养领域,本研究通过系统构建医工交叉特色课程、采用 OBE 理念为指导的多元化教学方式、建立医学与工学双导师指导机制、搭建“医教研产”协同创新平台等措施,探索出一套面向学科前沿与行业需求的检验医学研究生医工结合协同育人体系,为医学院校检验医学人才培养提供了理论依据和实践经验。实践表明,此培养体系有效提升了研究生的跨学科创新能力与综合素养,在人才培养质量与科研创新产出方面均取得了显著成效。

然而,在取得成效的同时,我们也清醒地认识到当前体系仍面临若干挑战:一是双导师制的实际运行中,部分工学导师对临床实际需求的理解仍不够深入,医工选题的临床价值与工程创新性有时难以兼顾;二是医学生的工科基础参差不齐,部分学生在学习柔性电子、人工智能等课程时存在知识储备不足的问题;三是产业实习基地的稳定性与深度合作机制仍有待进一步制度化。针对这些问题,下一步我们将通过建立医工导师常态化交流平台、设置工科先修课程、完善产业导师聘任与考核机制等方式加以持续改进。

展望未来,我们将以更高站位推进检验医学人才培养模式的系统性变革。在课程建设方面,持续