



# “高校-企业-医院”协同育人机制构建与实践——以上海交通大学生物医学工程跨学科人才培养为例

于海龙, 陈垚, 王富, 林关宁\*

上海交通大学 生物医学工程学院, 上海 200030

**摘要:** 针对生物医学工程专业传统培养模式中存在的知识体系割裂、临床实践载体匮乏等痛点, 本研究构建了“高校-企业-医院”三维联动的实践与创新能力培养体系。该体系通过整合高校知识传授、企业技术转化与医院临床验证功能, 形成了“知识传授-技术转化-临床验证”的闭环路径, 实现了教育链、产业链与创新链的深度融合。依托上海交大学生物医学工程专业本科生培养的实证数据显示, 该模式显著提升了学生的综合能力: 参与校企合作毕业设计的学生平均成绩(80.2分)较平时成绩(73.5分)有显著提高, 且在专利/软著申请及企业录用意向方面表现更优; 95%的实习学生反馈该模式“显著增强了对临床需求的理解”。本研究为破解跨学科工程人才培养的结构性矛盾提供了可操作的实践范式。

**关键词:** 生物医学工程; 校企医协同; 闭环培养体系; 跨学科人才培养; 健康中国

**中图分类号:** G642.0; R318

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-4969(2026)04-0498-13

## 引言

人才培养是高等教育的核心任务, 实践与创新教

育则是其中的关键环节。它在培养创新人才、增强其实践与创新能力、复杂问题解决能力以及社会适应能力等方面发挥着重要作用<sup>[1-3]</sup>。随着社会与产业结构

**收稿日期:** 2026-03-20; **修回日期:** 2026-03-30

**基金项目:** 教育部产学研合作协同育人项目(2409045039); 上海交通大学决策咨询课题(JCZXSJB2024-06)

**作者简介:** 于海龙(1984—), 男, 博士, 实验师, 研究方向为实践教学、医疗机器人、人体生物电信号处理等。E-mail: haigou5514@sjtu.edu.cn

陈垚(1973—), 男, 博士, 教授, 研究方向为视觉认知与康复机制等。

王富(1984—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为生物医学光子学等。

\*林关宁(1982—), 男, 博士, 教授, 研究方向为人工智能在科学领域的应用等。E-mail: nickgnlin@sjtu.edu.cn (通讯作者)

**引用格式:** 于海龙, 陈垚, 王富, 等. “高校-企业-医院”协同育人机制构建与实践——以上海交大学生物医学工程跨学科人才培养为例[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2026, 18(4): 498-510. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20260028. CSTR: 32282.14.JES.20260028

YU H L, CHEN Y, WANG F, et al. Construction and Practicing the University-Enterprise-Hospital Collaborative Education System: A Case Study of Interdisciplinary Talent Cultivation in Biomedical Engineering at Shanghai Jiao Tong University[J]. Journal of Engineering Studies, 2026, 18(4): 498-510. DOI: 10.3724/j.issn.1674-4969.20260028. CSTR: 32282.14.JES.20260028

的变革,人才培养的生态需求持续变化,教育供给侧结构也需相应调整<sup>[4]</sup>。引入多元主体,优化整合人才培养过程中的各类资源,共同构建融合育人平台,丰富学生实践操作机会,已成为适应变革的有效途径,对人才培养具有重要意义<sup>[5]</sup>。在这一背景下,生物医学工程(Biomedical Engineering, BME)作为一门融合工程学、生物学与医学原理的交叉学科,其人才培养对实践与创新教育提出了更为迫切的需求。

BME通过创新技术的研发与应用解决医学问题,构成了医疗卫生装备与医疗器械研发的学科基石<sup>[6-7]</sup>。深化该专业的教学改革,不仅对推动我国医疗器械产业与临床医学发展具有重要意义,更是建设“健康中国”战略的基础支撑。近年来,随着BME领域的快速迭代,社会对高素质专业人才的需求日益迫切,这对学生的实践能力提出了更高要求<sup>[8]</sup>。因此,强化实践与创新能力培养,有助于推动学生实现理论与实践的深度融合,提升其解决复杂工程问题的能力,从而更好地适应行业发展需求并增强就业竞争力。然而,培养此类高素质人才面临诸多挑战,并非易事。

培养跨学科工程人才是生物医学工程专业的核心目标<sup>[9]</sup>。这类人才不仅需掌握工程、生物学、医学等多学科知识,更应具备系统思维、跨界协作与创新意识,在医工交叉领域中发挥桥梁作用<sup>[10-11]</sup>。他们应能在工程师、医生、企业管理者等不同角色间有效沟通,将临床需求转化为工程技术方案,并在产品研发全生命周期中综合考虑技术可行性、临床适用性与产业合规性<sup>[12-13]</sup>。从核心素养角度看,跨学科工程人才应具有“T型”知识结构,即在某一工程领域拥有深厚专业知识,同时具备广泛的医学、生物学、法规及管理知识;其能力模型强调在真实、复杂且不确定的临床场景中,进行问题重构、方案设计与价值判断的综合能力<sup>[14-15]</sup>。

由于我国跨学科人才培养起步较晚,仍处于探索阶段,生物医学工程的多学科特性为人才培养带来了诸多挑战<sup>[16-17]</sup>。传统的实践与创新能力培养主要依托高校实验室,通过实验教学与科研活动展开<sup>[18]</sup>。然而,受经费、场地与制度所限,高校实验室难以模拟各类手术与治疗场景,供学生深入理解临床需求;学生也难以全程参与相关产品的设计与研发过程。例

如,在医学影像设备课程中,学生通常只能接触原理演示样机,而无法操作CT、MRI等临床级设备进行参数优化与图像质量评估;在康复工程课程中,学生设计的新型假肢样机常因缺乏临床测试环境,无法获得真实用户反馈,导致设计迭代缺乏有效数据支撑。因此,现有培养体系难以充分满足实践与创新能力培养的要求,致使学生在发现问题与解决问题方面的能力存在不足<sup>[19]</sup>。

为此,本文提出一种基于校企医合作的生物医学工程专业学生实践与创新能力培养体系。将从人才培养现状、协同育人机制构建内容、实践成效三个维度展开阐述,通过整合高校-企业-医院三方资源,构建闭环培养路径,探索适配生物医学工程交叉特性的跨学科工程人才培养模式,为同类专业的实践创新教学改革提供参考。

## 1 生物医学工程跨学科人才培养的现状审视

当前,生物医学工程专业的实践与创新能力培养体系存在一定程度的知识体系割裂和实践载体匮乏的情况<sup>[20-22]</sup>。跨学科人才培养的难点在于学科边界固化、课程体系孤立、师资结构单一。传统的人才培养模式已难以满足医工交叉领域的需求,亟须向在多个领域具备深度知识和整合能力的培养方式转变<sup>[23-24]</sup>。

在知识体系方面,主要体现在基础理论课程与实践类课程衔接不足。第一,受学科壁垒等条件限制,当前课程体系的设定存在“拼盘化”现象,缺乏系统性设计<sup>[25]</sup>。学生难以将专业知识转化为实际应用,例如如何发现临床问题并用工程技能加以解决。第二,师资背景单一,缺乏跨学科、跨行业的研究经验,导致教学中难以引导学生贯通知识体系<sup>[26]</sup>。以“生物医学信号处理”课程为例,理论教学偏重信号滤波、特征提取等算法原理,却缺乏与临床心电诊断(electrocardiogram, ECG)、临床脑电诊断(electroencephalogram, EEG)场景的关联,学生不清楚在不同噪声环境下应如何选择或设计更具鲁棒性的算法,以致面对真实临床数据时常无从下手。当学生面临学科竞赛、产品开发或创业需求时,可能因综合实践能力不足而陷入困境。

在实践载体方面, 实践教学内容往往难以与学科发展和行业需求相协调。近年来, 生物医学工程学科及相关行业迅速发展, 但高校的实验教学设备与内容更新相对滞后, 导致人才培养难以紧跟科技前沿<sup>[2-3]</sup>。这主要由于高校教学实验室多配置基础实验设备, 缺乏高端教学模拟装置, 使得实验内容大多停留在验证性阶段, 难以提升至探索性研究层次。同时, 实验设备通常仅服务于单一课程, 面对复杂工程问题时支撑能力不足。此外, 科研实验室虽以商品化科研设备为主, 却缺乏系统性与开放性, 与产业前沿技术之间存在一定脱节<sup>[27-28]</sup>。

综上所述, 构建一种深化高校与医院合作、避免学生临床见习流于形式, 并能弥补产业对接机制不足、为学生提供实际产品研发接触机会的新型育人模式, 已迫在眉睫。此举将有效确保高校教学与医院及企业的实际需求相匹配, 从而提升学生的岗位适应能力。

## 2 高校-企业-医院协同育人机制的构建路径

### 2.1 高校-企业-医院的功能分工与联动机制

针对当前生物医学工程专业人才培养的现状, 可通过构建高校、企业、医院三方联动的育人体系, 采取各司其职、相互配合的模式。该模式兼顾三方利益, 形成共建共享机制, 通过资源整合与合理利用, 推动企业与医院持续创新, 保障其长期稳定运行。这不仅有助于学生持续提升自身能力, 促进理论知识与实践紧密结合, 提高专业技能, 也为他们未来的职业发展奠定了基础。

构建高校-企业-医院合作的生物医学工程专业学生工程实践能力培养体系, 可在传统教学基础上, 结合学生理论知识与工程实践能力的实际掌握情况, 以高校-企业-医院合作为驱动, 以社会需求为导向, 拓展教学内容, 采用多样化教学方法, 强化师资力量, 激发学生的学习热情, 提升其主动性与自觉性, 从而更有效地促进学生能力培养与知识掌握。通过建立“知识传授-技术转化-临床验证”的闭环系统, 实现教育链、产业链和创新链的深度融合, 如图1所示。

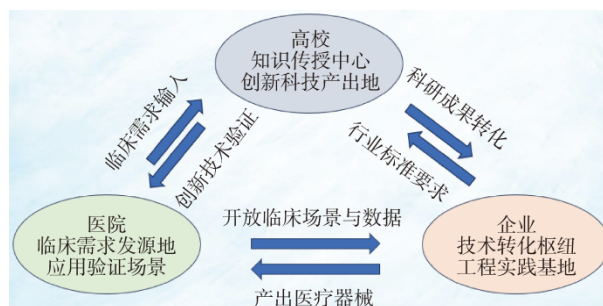


图1 高校-企业-医院协同育人体系

Figure 1 Collaborative education system involving enterprises, universities, and hospital

高校作为知识传授中心, 既承担基础理论教学的任务, 也开展前沿技术研究。为此, 应建立以临床和行业需求为驱动的课程动态调整机制, 并开发相应的实验教学系统。当前, 生物医学工程学科所涵盖的行业发展迅速, 涉及医疗设备与仪器、医学影像与信息处理、生物材料与再生医学等诸多领域。随着行业进步, 从业人员不仅需要承担医疗法规制定与质量管理的职责, 还需应对创新产品的不断涌现, 探索科学有效的监管方法<sup>[29]</sup>。面对层出不穷的新技术、新产品与新要求, 高校须紧跟行业步伐, 持续更新课程体系。

企业作为技术转化枢纽, 负责提供工程实践平台并导入行业标准。除与高校开展科研合作外, 企业还可深度参与学生培养, 例如指导毕业设计。借此机会, 企业能够提前锁定潜在人才。通过参与学生项目, 企业可评估学生的综合能力, 为未来招聘储备优质人选, 从而降低招聘与培养成本。高校学生常涉足前沿技术探索, 企业可依托高校资源, 以较低成本探索新方向。企业可根据自身研发需求设定课题, 学生的毕业设计成果有时可直接转化为阶段性解决方案, 推动技术商业化进程。此外, 参与教育合作也有助于提升企业形象, 增强公众及行业认可, 吸引更多潜在合作伙伴与客户。通过参加学术会议、联合发表论文或申请专利, 企业还能进一步扩大行业影响力。

医院作为临床需求的发源地, 能够提供真实的诊疗场景、临床数据与验证环境。医护人员可在设备应用中反馈痛点并提出技术改进方向, 与高校及企业共同规划学科与产品的发展路径。例如, 上海交通大学

拥有瑞金医院、仁济医院、新华医院及第九人民医院等13家附属医院,临床资源丰富。生物医学工程专业可依托学校在临床医学方面的资源优势,深化医教协同,拓展学生视野,提升创新能力。此外,产业资源的深度整合是推动产学研合作与成果转化的关键。生物医学工程专业已与包括全球高端医学影像设备龙头企业“联影医疗”在内的多家知名企业共建合作平台,并联合研发核心技术。这种校企联动机制有效促进了信息共享、人才互通与资源流动,不仅赋能高素质人才培养,更加速了科技创新与产品研发的进程。

最后,高校-企业-医院协同体系的高效运转离不开科学的管理体系保障。可通过设立由高校、企业、医院三方组成的管理委员会并定期召开联席会议,规范多方合作流程,并明确知识产权归属、风险管控及成果转化收益分配等核心事项,为整个育人体系的顺利运行提供坚实的制度支撑。

## 2.2 面向行业需求的教学目标重构

教学目标是开展教学活动的前提,也是实施教育教学的关键环节,直接影响教学成果的质量。依托高校-企业-医院合作的生物医学工程专业学生工程实践能力培养体系,能够将学术界、产业界和最终用户紧密联系起来,持续为人才培养注入活力,并对课程目标的达成起到多维度、高价值的提升作用。

教学目标的设定需依据学生掌握的知识、技能水平及创新能力,设计相应的教学活动和评价方式。采用有效的教学策略,改变学生对生物医学工程专业的固有认知,提升其专业学习积极性,既是提高教学质量的有效途径,也是推动该专业学生工程实践与创新能力培养体系构建的重要手段。以上海交通大学生物医学工程专业的毕业设计课程为例,其课程目标包括:学生能了解技术和科学的最新水平,发现和表达问题;能够运用工程学、科学与技术知识完成生物医学工程项目;掌握使用生物医学仪器与软件进行研究并分析结果;理解生物医学设计、动物或临床研究中的伦理议题;能够利用数据库检索和阅读文献;具备撰写研究报告、论文以及公开汇报成果的能力;能与团队成员协作,并与指导老师保持良好沟通。

当前,生物医学工程学科及相关行业的迅猛发

展,在带来新机遇的同时,也对学生实践与创新能力的培养提出了更高要求。2021年国务院办公厅印发的《关于全面加强药品监管能力建设的实施意见》明确提出,要建立科学高效的监管体系,其核心任务是研发药品医疗器械监管的新工具、新标准与新方法,以化解监管与创新之间的矛盾<sup>[30]</sup>。这一体系的建设与发展,对生物医学工程专业学生的能力结构提出了新的要求。例如,学生需关注人工智能、大数据、3D打印、可穿戴设备等新兴技术在医疗领域的应用,并培养终身学习能力,从而形成动态适应监管要求的能力。同时,从事该行业还应具备覆盖产品全生命周期的风险管理能力。具体而言,在产品开发初期,就应在设计验证中引入风险分析工具,以确保产品的安全性与有效性;在临床转化阶段,需理解临床试验设计与伦理审查流程;产品上市后,则持续进行监管学习,掌握不良事件报告系统、召回流程及持续改进机制等相关知识。行业提出的新要求促使高校调整教学目标和课程内容,但仅凭高校单方面调整,效果往往有限。若能与相关行业合作,共同制定课程目标与内容,将显著提升人才培养的质量与成效。

实践与创新能力的培养,需要以学生具备一定的理论知识储备、拥有主动探究的意识与兴趣为基础。引入企业与医院的资源,有助于拓宽学生视野,增强专业认知,进而激发其自主学习的动力。理论知识水平和实践能力的提升是一个循序渐进的过程,授课教师应紧扣教学目标,充分整合高校-企业-医院体系资源,合理安排教学环节。通过保障学习内容的科学性与连续性,使学生能在个性化学习中把握生物医学工程专业相关课程的知识要点与难点,并在反复推敲与摸索中逐步构建自己的学习体系,打下扎实的专业基础。同时,教师应科学制定实践创新目标,组织学生参与学科竞赛,以赛促学,提升学生解决实际问题的能力。针对不同学习阶段的学生,应针对性地将各类实践环节融入课程教学,推动教学成果的有效转化。

总之,建立高校-企业-医院协同运行机制,应依据临床需求和行业标准调整教学目标,构建相应课程模块,从而打通人才培养壁垒,贯通知识学习与探索的链条。这对于生物医学工程等交叉学科的人才培养

具有重要意义。

### 2.3 基于高校-企业-医院协同的教学内容拓展策略

生物医学工程作为一门交叉性、应用型学科,其教学内容应紧密对接行业动态与社会热点,紧跟学科前沿发展,使学生及时了解专业最新进展,从而增强其在学习中的主观能动性。为实现这一目标,须注重培养学生工程实践与创新能力,促进师生在教与学过程中共同提升。该专业学生的工程实践与创新能力集中体现在解决临床实际问题,例如开发新型医疗设备、优化诊疗技术、设计智能医疗系统等。这要求学生具备临床需求导向的思维、团队协作与沟通能力,以及适应前沿技术发展的素养。唯有如此,学生才能深入理解医院场景的真实需求,将工程技术与临床问题有机结合,并熟悉医疗法规与伦理规范,确保技术应用的合规与安全;才能在跨学科团队(工程师、医生、企业人员)中高效协作,具备向非技术背景人员解释复杂问题的能力。针对监管科学的发展,该专业应通过新增法规与监管科学课程、强化数据科学与人工智能应用、深化伦理与社会责任教育等内容,构建“技术+监管+伦理”三维知识框架。

拓展教学内容应遵循以下原则。①基于学情分析与学生兴趣,有针对性地拓展教学内容,优化专业设置,满足学生个人发展需求。同时,加强对行业需求的调研,结合社会经济发展与岗位实际,合理设置专业方向,确保人才培养符合当前企业与医院的需求。②融合科学前沿与传统素材,在教学中充分利用生物医学工程相关的学科前沿资料,做到讲解深入浅出,使学生既掌握专业基础知识,又切身感受科技发展带来的进步。③坚持理论与实践相结合。生物医学工程专业实践性突出,教学应从实际出发,以科研项目与企业项目的实施需求为导向,整合相关案例作为教学资源,融入课程与教学项目,通过典型项目案例讲解专业知识的实际应用,实现理论与实践的贯通。同时,持续将企业与医院的新技术、新工艺引入教学,不断提升学生的职业技能水平。

### 2.4 跨学科能力的多元评价指标体系构建

建立合理的评价机制,以评促改,是保障学生工

程实践能力培养体系有效运行的关键。课程评价机制应对校企医合作背景下的教学模式、内容与方法进行检验,并对教学方案的实施效果作出评估。评价机制涵盖教学过程评价与实践能力评价两方面。

教学过程评价关注学生学习全过程,而非仅限于期末测评。评价结果可作为阶段性的教学验证,以确保教学全程的适宜性。评价内容包括但不限于学生课堂学习状态、课业完成质量及项目成果等。同时,通过建立学生个体生物医学工程专业学习档案,引导学生进行学习复盘,开展以个体为中心的纵向对比。这一做法既有助于教师依据生物医学工程专业学生学习的共性与差异实施教学改进,也能提升学生的自我认知,进而帮助其发挥优势、弥补不足。

实践能力评价环节应构建多元化的评价主体,以全面评估学生的实践能力。例如,可组建由企业专家、医院专家和专业教师构成的评价小组作为评价主体,将实践能力考核作为核心评价内容,从而对学生的实践能力进行有效评价,避免传统考核报告流于形式;同时,验证在高校-企业-医院合作背景下,教学效果是否能够满足社会需求以及培养学生能力的需要。通过实践能力评价,逐步培养学生分析问题与解决问题的能力,汇聚专业实践成果,使生物医学工程专业教学成为提升学生工程实践能力的有效平台。跨学科能力评价指标体系如表1所示。

## 3 毕业设计 with 专业实习中的协同育人实践

### 3.1 校企协同的毕业设计实践

当前,上海交通大学生物医学工程专业正在努力完善实践能力的培养机制。自2021年起,生物医学工程专业的本科毕业设计增设了校企合作项目。项目由企业提出需求并提供资助,每个项目由2~3名学生合作完成。企业需要匹配企业导师,确定项目选题与研究内容,定期与学生交流、讨论项目进展,评估学生表现。学院将为每一个项目配备一名指导教师,助力完善企业工程解决方案。项目将在毕业设计管理团队、学院教务的共同协助下完成。并且,学院后期将积极对接临床专家,完成前期临床需求与后期效果

表1 高校-企业-医院协同育人机制下生物工程专业跨学科能力评价指标体系

Table 1 An interdisciplinary competency evaluation index system for biotechnology engineering majors under the collaborative education mechanism among universities, enterprises, and hospitals

| 评价维度   | 具体指标                             | 评价主体           | 评价方式        |
|--------|----------------------------------|----------------|-------------|
| 系统思维能力 | 能够从整体视角分析临床问题，统筹考虑技术、医疗、法规等多维度因素 | 校内导师、临床导师、企业导师 | 项目报告、方案设计评审 |
| 跨界协作能力 | 能够与工程师、医生、企业人员有效沟通，协调各方资源        | 校内导师、临床导师、企业导师 | 团队项目评价      |
| 创新转化能力 | 能够将临床需求转化为工程技术方案，推动成果转化          | 校内导师、临床导师、企业导师 | 项目成果评估      |

验证的闭环工作。学生在企业导师与校内导师的共同指导下，协作完成项目，培养其在实践中发现问题、解决问题的能力，以及团队合作精神。部分题目如表2所示。

由表2可见，生物医学工程专业学科覆盖面广，客观上增加了人才培养的难度；而企业的深度参与，则有效拓展了学生培养的维度与边界。以下通过三个典型本科毕业设计案例，具体展现校企协同育人的实践成效。

(1) “医疗器械自动化防除颤测试系统设计”案例。该课题针对心脏除颤器高工作电压可能对连接人体的医疗器械造成电气安全隐患的问题，严格遵循国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）标准及其他相关国家标准要求，研发面向此类器械防除颤应用部件的自动化测试系统。项目在传统测试方案基础上，采用隔离设计与远程控制技术，实现了操作人员与高压危险环境的物理隔离；同时，系统支持自动化连续运行与数据自动记录，显著提高了测试效率。实施过程中，项目促成了

高校人才培养、企业技术攻关与医院临床需求的精准对接，实现了多方共赢，有效提升了学生的工程实践能力与系统思维。高校明确要求毕业设计须紧密贴合企业实际需求，具备清晰的工程应用背景与一定创新性，指导学生依据相关标准制定防除颤测试方案；企业则结合临床专家指出的心脏除颤器在急救过程中可能对心电图机、监护仪等有源医疗器械产生高压冲击、导致设备损坏或患者二次伤害的临床痛点，提供了高压安全测试环境、高电压发生装置及标准化测试工装，弥补了高校在该领域实验条件的不足。该系统电路设计与测试现场如图2所示。

(2) “医用电气设备及系统中报警系统的视觉及听觉报警信号的检测系统研究”案例。该毕业设计由两名学生分工协作，分别完成硬件系统与软件系统的设计调试，提出一种基于单片机的报警信号采集方案，检测结果可导出为txt、csv格式文件。系统采样率达200 Hz，采集信号可被后续分析软件准确识别与解析，在不同报警状态下均能精准检测，可有效识别信号占比与闪烁频率等特征，具备替代人工检测

表2 上海交通大学生物医学工程学院校企合作本科毕业设计题目（部分）

Table 2 Some undergraduate graduation project topics for university-industry collaboration at the School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University

| 序号 | 本科毕业设计题目                        | 合作企业              |
|----|---------------------------------|-------------------|
| 1  | 医疗器械自动化防除颤测试系统设计                | 通标标准技术服务（上海）有限公司  |
| 2  | 基于大语言模型的医疗器械检测报告辅助生成系统研究        | 通标标准技术服务（上海）有限公司  |
| 3  | 基于多模态影像的Lisfranc骨折自动化识别系统       | 影为医疗科技（上海）有限公司    |
| 4  | 基于人因工程的康复机器人设计优化研究              | 通标标准技术服务（上海）有限公司  |
| 5  | 心电数据分析结果评估系统                    | 通标标准技术服务（上海）有限公司  |
| 6  | FLT3基因及上下游区生信算法和长片段拼接算法的优化      | 上海金域医学检验所有限公司     |
| 7  | 基于深度学习的脊柱影像分割算法研究               | 影为医疗科技（上海）有限公司    |
| 8  | 医用电气设备及系统中报警系统的视觉及听觉报警信号的检测系统研究 | 通标标准技术服务（上海）有限公司  |
| 9  | 基于头戴式双目相机的术中导航定位算法              | 上海电气集团股份有限公司中央研究院 |

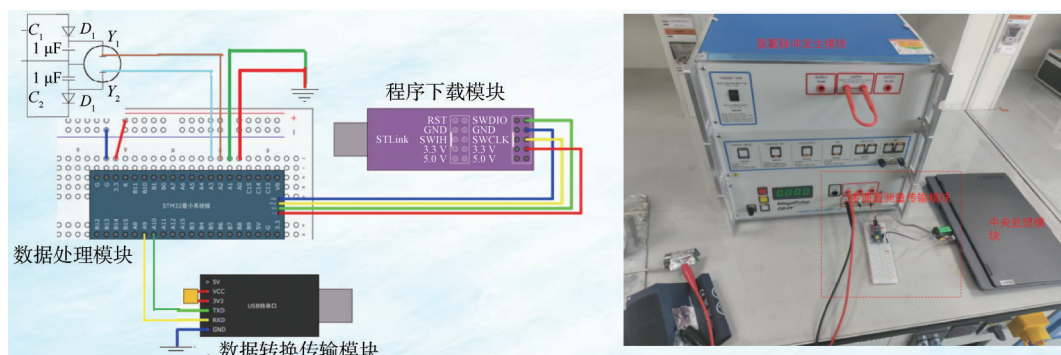


图2 “医疗器械自动化除颤测试系统设计”案例中电路设计(左)与企业测试现场图(右)

Figure 2 Circuit design (left) and on-site testing images (right) from the enterprise are presented in the "Design of an automated defibrillation test system for medical devices" case

的工程可行性。此外,该采集系统相比现有摄像测试法具有更高采样率,性能优势显著。在项目推进过程中,高校发挥着理论指导与人才培养的核心作用,依托嵌入式系统、信号处理等课程体系,指导学生完成方案设计与实验验证;企业则根据医院梳理出的真实医疗场景中报警信号的使用特征与检测痛点,发挥工程转化与平台支撑的关键作用,提供实际报警系统的技术参数、测试工装及行业标准,引导学生将理论成果转化为可落地的工程样机。视觉信号采集模块电路如图3所示。

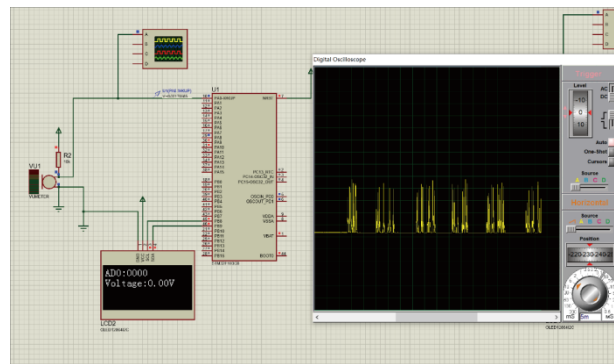


图3 “医用电气设备及系统中报警系统的视觉及听觉报警信号的检测系统研究”案例中视觉信号采集模块电路

Figure 3 Circuit of the visual signal acquisition module in the "Research on detection systems for visual and auditory alarm signals in medical electrical equipment and systems" case

(3)“心电数据分析结果评估系统”案例。该课题针对心电信号分析中参考注释文件与待测注释文件难以完全匹配的行业痛点,实现了自动化精准匹配与比对,并完成了系列比对算法的设计与开发。项目不

仅形成了产品雏形,还成功取得了计算机软件著作权登记证书。实施过程中,高校导师在信号处理、算法设计等方面提供理论支持,指导学生攻克注释文件非完全匹配的技术难题,完成了系列比对算法的设计与实现;企业则依据临床专家提供的实际心电信号临床注释标准与诊断逻辑,提供真实心电数据集的格式规范、软件工程标准及产品化指导,确保比对算法的评估结果符合临床实际需求,协助学生将算法模型转化为具备产品雏形的软件系统。该系统的心电数据比对流程如图4所示。

通过校企合作项目,学生得以将理论知识应用于实践,借助企业平台解决行业实际问题,从而弥补了高校教育中常见的“重理论、轻实践”的不足。自开设校企合作毕业设计项目以来,累计已有24名学生参与。对比分析显示,参与此类项目的学生毕业设计平均成绩为80.2分,高于其平时平均成绩73.5分。此外,这些学生在后续申请专利、软件著作权的比例,以及获得企业录用意向的比例上,均优于选择传统校内课题的学生。这表明校企合作项目有效提升了学生的工程实践能力和就业竞争力。

### 3.2 医教协同的专业实习模式

目前,上海交通大学生物医学工程专业的本科生实习课程于上海市第六人民医院进行。学生们将学习重症监护、呼吸系统疾病、医学影像、血透治疗、检验诊断、康复治疗、心血管疾病、肿瘤治疗、超声医学及运动医学等十个领域的知识,并前往相关科室参

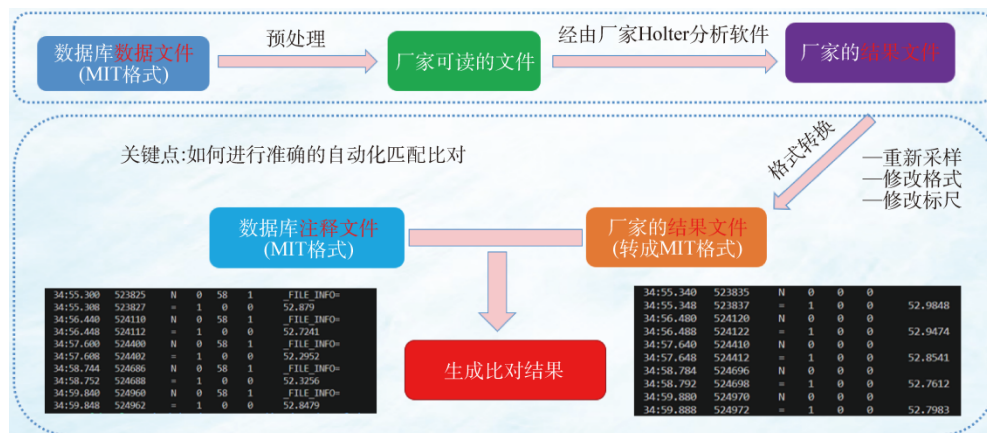


图4 “心电数据分析结果评估系统”案例中心电数据比对流程

Figure 4 ECG data comparison workflow in the “ECG data analysis result evaluation system” case

观。实习结束后,学生需通过提交实习报告、项目报告并进行项目汇报等形式展示学习成果并接受考核。例如,图5展示的是学生在重症监护病房实习的场景:带教医生借助监护仪上实时跳动的生命体征参数,为学生们讲解危重症患者的病情演变规律与临床处置要点;学生们则围绕心电波形异常、呼吸机参数调整等关键问题向医生请教。借助此类沉浸式临床教

学,学生得以将课堂所学的病理生理知识与真实病例相互印证。

自2024年起,专业实习课程在原有考核内容基础上增设了项目答辩环节。课程开始前,授课教师会将答辩环节的考核形式与要点告知学生,学生可先行组队,从而有的放矢、带着明确目标开展实习。具体考核内容及权重详见表3。

表3 生物医学工程专业的本科生实习课程课程考核细则

Table 3 Assessment guidelines for the undergraduate internship course in Biomedical Engineering

| 序号 | 考核内容 | 占比  | 考核细则                                                                                                                                                                                                                |
|----|------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 出勤   | 10% | 考勤方式:每日上、下午各签到一次,由课程助教或授课教师负责记录。<br>扣分规则:每缺席半天(或一天),扣除出勤分数3分(按百分制折算后扣减)。缺勤扣分可累计,直至出勤项分数扣完为止(即出勤分为0)。累计缺席天数超过3天(不含3天),即视为自动放弃本实习课程学分,总成绩直接评定为“不合格”,不再参与其他四项考核项的评分                                                    |
| 2  | 随堂测试 | 20% | 随堂测试旨在考查学生对实习内容的理解深度和即时反应能力,形式灵活。测试形式包括课堂提问和案例分析。<br>课堂提问:授课教师随机抽点学生回答,或学生主动回答。快速小测验:以选择题、填空题或简答题形式进行(书面或电子问卷),限时3~5 min;<br>案例分析:针对实习中遇到的设备、临床流程或病例,要求学生在课堂上当场分析                                                   |
| 3  | 实习报告 | 20% | 实习报告侧重于对整个实习过程的全面总结与反思,考查学生的归纳能力和职业素养。<br>提交要求:实习结束后一周内提交,字数不少于3000字,格式需符合上海交通大学课程报告规范。简要说明实习单位/医院科室的背景、实习时间、主要任务。将实习内容与生物医学工程课程知识相联系,阐述理论与实践的对应关系。列出实习中遇到的至少3个具体困难或疑惑,并分析原因。客观评价自身在专业知识、动手能力、团队协作、沟通能力等方面的提升与待改进之处 |
| 4  | 项目报告 | 20% | 项目报告要求各小组或学生个人基于实习内容,完成一项小型研究或工程设计,重点在于发现并分析临床问题。以实习中观察到的真实临床需求或技术痛点为基础,详细阐述所发现的临床问题是什么,该问题的普遍性、严重性及现有解决方案的不足。提出初步的解决方案思路,并给出可行性分析。总结项目价值,指出方案的优势与局限性,并规划下一步工作                                                      |
| 5  | 项目答辩 | 30% | 项目答辩强调口头表达与临场应变,重点在于清晰阐述从临床问题到解决方案的完整逻辑。每组PPT汇报8 min,评委提问5 min。需体现:临床问题展示、需求分析、解决方案及方案的可行性与对临床实践的改善预期                                                                                                               |



图5 生物医学工程专业本科生在上海市第六人民医院实习现场图  
Figure 5 On-site photo of Biomedical Engineering undergraduates during their internship at Shanghai Sixth People's Hospital

在实习期间, 学生可就发现的问题及时与校内导师、企业专家及临床医生交流, 从而提升专业能力。在 2024 年的专业实习课程答辩环节中, 87 名学生共分为 25 个小组, 每组 3~4 人, 重点阐述基于实习内容所发现的临床问题及相应解决方案, 成绩以组为单位评分。评分工作由学校、企业及医院专家共同承担, 所有评委采用统一的评分标准, 以减少主观偏差。答辩开始前, 任课教师会向评委详细解读评分标准, 确保理解一致。评分重点考查学生发现与解决问题的能力, 具体涵盖内容完整性(包括背景调研、问题凝练与解决方案)、汇报表达、时间控制及问题回答等方面。答辩成绩如图 6 所示。

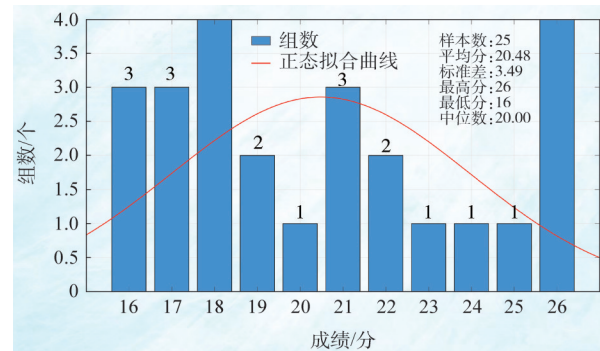


图6 2024 年生物医学工程专业本科生专业实习课程答辩环节成绩分布  
Figure 6 Distribution of scores for the professional internship course defense session for undergraduate students majoring in Biomedical Engineering in 2024

图 6 中, 成绩平均分为 20.48 分, 标准差为 3.49, 整体接近高斯分布, 这在一定程度上表明评分过程相对独立、客观, 未出现明显的个人偏见或相互干扰, 主观评价误差呈现随机特征。答辩难度设置适中, 能

够有效区分不同水平的学生, 同时较好地测量出临场发挥与准备程度的差异, 整体结果信度与效度较高, 符合统计学预期。此外, 教学评价结果将推动课程教学内容及时作出合理调整, 实现动态、可持续的优化。实习后的问卷调查显示, 95% 的学生认为该模式“显著增强了对临床需求的理解”, 90% 的学生表示“提升了解决实际问题的信心”。在 2025 年度全国大学生生物医学工程创新设计竞赛中, 参与专业实习项目的学生团队获奖比例较 2024 年提升了 20%。

#### 4 结论

面向“健康中国”战略对复合型医工人才的迫切需求, 上海交大学生物医学工程专业针对传统培养模式中存在的“重理论轻实践、重技术轻临床”等痛点, 开展了“高校-企业-医院”协同育人体系的改革实践。通过在本科毕业设计与专业实习等核心教学环节的落地实施, 本研究探索并构建了“知识传授-技术转化-临床验证”三维联动的闭环培养体系。实践表明, 该体系在提升学生解决复杂工程问题能力方面成效显著, 主要结论如下:

(1) 验证了“三链融合”的闭环机制, 有效整合了跨界资源。通过依托瑞金医院、联影医疗等附属医院与龙头企业资源, 本研究在实践中确立了高校(知识传授)、企业(技术转化)、医院(临床验证)三方各司其职的联动机制。该机制打通了从理论学习到产品转化再到临床应用的全链条, 将产业界的工程标准与医院的临床需求前置导入培养过程, 实现了教育链、产业链与创新链的深度融合, 解决了跨学科人才培养中资源分散与需求脱节的结构性矛盾。

(2) “三师共导”模式显著提升了学生的系统思维与转化能力。在具体教学实践中, 通过引入学术导师、企业导师、临床导师联合指导的“三师制”, 学生得以在真实医院临床场景中直接面对复杂工程问题。这种模式强制性地“临床验证”环节嵌入学习过程, 引导学生在设计初期即统筹考虑技术可行性、临床适用性与法规伦理, 显著增强了其跨界沟通能力与系统思维素养。

(3) 量化数据证实了培养质量的实质性提升。基

于2024—2026年间开展的实证数据显示,参与校企合作毕业设计的学生,其毕业设计平均成绩(80.2分)较平时平均成绩(73.5分)有显著提升,在专利/软著申请及企业录用意向上的表现亦优。此外,改革后的专业实习课程中,95%的学生反馈该模式“显著增强了对临床需求的理解”,且实习项目团队在2025年全国大学生生物医学工程创新设计竞赛中的获奖比例较上年提升了20%,有力证明了该体系对学

生创新实践能力的促进作用。

目前该体系的高效运行在一定程度上依赖于高水平大学密集的附属医院网络与行业头部企业的深度合作资源。未来,本研究将进一步探索该模式在资源相对有限高校中的推广路径,通过构建区域性校企医联盟或虚拟教研室等形式降低实施门槛,并完善长效激励机制,为我国生物医学工程领域输送更多具备国际竞争力的卓越工程人才。

## 参考文献

- [1] 袁金凤. 基于“三链融合”的创新实践型人才培养体系探索: 以计算机专业为例[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(2): 139-146.  
Yuan J F. Exploration on the cultivation of innovative practical talents based on the integration of three chains: Taking the computer science as an example[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2025, 44(2): 139-146.
- [2] 熊宏齐. 虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(5): 1-4, 16.  
Xiong H Q. Promotion of reform and innovation on integration of theory teaching and experimental teaching by virtual simulation experiment teaching[J]. Experimental Technology and Management, 2020, 37(5): 1-4, 16.
- [3] 熊宏齐. 基于虚拟仿真的线上线下融合专业实验教学体系构建[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(3): 5-10, 25.  
Xiong H Q. Construction of online-merge-offline specialized experiment teaching system based on virtual simulation[J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39(3): 5-10, 25.
- [4] 郭嘉亮, 张丽华, 刘连, 等. 服务地方产业的生物医学工程实践教学体系建设[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(5): 181-184.  
Guo J L, Zhang L H, Liu L, et al. Construction of practical teaching system of biomedical engineering for local industry development[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2019, 38(5): 181-184.
- [5] 权良媛, 刘怡玲. 协同育人视角下多元主体对高校创新创业人才培养的影响研究[J]. 江苏高教, 2025(1): 89-97.  
Quan L Y, Liu Y L. Research on the influence of multiple subjects on the cultivation of innovative and entrepreneurial talents in colleges and universities from the perspective of collaborative education[J]. Jiangsu Higher Education, 2025(1): 89-97.
- [6] 常向荣, 周杰, 李锦红, 等. 生物医学工程专业生产实习教学模式探究[J]. 实验室研究与探索, 2025, 44(2): 187-190, 248.  
Chang X R, Zhou J, Li J H, et al. Exploration of teaching mode in production internship of biomedical engineering major[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2025, 44(2): 187-190, 248.
- [7] 陈洪波. 依托校企医合作的生物医学工程专业学生工程实践能力培养体系的构建[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(12): 6-8.  
Chen H B. Construction of cultivating biomedical engineering practice ability of students based on school-enterprise-hospital corporation[J]. Experimental Technology and Management, 2014, 31(12): 6-8.
- [8] 何珂, 汪玲. 健康中国背景下“新医科”发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2019, 21(2): 98-102.  
He K, Wang L. Development strategy of “new medicine” under the background of healthy China[J]. Engineering Science, 2019, 21(2): 98-102.
- [9] 宋剑, 李哲, 刘杰, 等. 面向医工融合的“知识-能力-课程”三位一体课程矩阵设计及教学实践[J]. 生物医学工程进展, 2025, 46(2): 171-175.  
Song J, Li Z, Liu J, et al. Design and teaching practice of a trinitarian curriculum matrix of “knowledge-ability-course” oriented towards medical-engineering integration[J]. Shanghai of Biomedical Engineering, 2025, 46(2): 171-175.
- [10] 魏静, 陈致衡, 林亿超. 医工结合研究生培养模式探索[J]. 医学研究与实践, 2024, 6(9): 181-182.  
Wei J, Chen Z H, Lin Y C. Exploration of cultivation mode for medical-engineering integration graduate students[J]. Medical Research and Practice, 2024, 6(9): 181-182.
- [11] 李俊武, 何文广. 医工交叉类专业课程建设的探索与实践[J]. 教育论坛, 2024, 6(9): 31-32.

- Li J W, He W G. Exploration and practice of medical-engineering courses construction[J]. Education Forum, 2024, 6(9): 31-32.
- [12] 张冰玉, 秦对, 钟先华, 等. 新工科背景下以需求为导向的多学科交叉融合生物医学工程人才培养模式探索[J]. 创新创业理论研究与实践, 2024, 7(11): 125-128.
- Zhang B Y, Qin D, Zhong X H, et al. Exploration of new mode of demand-oriented biomedical engineering talents training with multidisciplinary interdisciplinary integration under the background of new engineering[J]. The Theory and Practice of Innovation and Entrepreneurship, 2024, 7(11): 125-128.
- [13] 崔勇, 魏末. 基于创新创业能力导向的生物医学工程专业人才培养模式初步探索——以沈阳药科大学为例[J]. 高等药学教育研究, 2025, 43(2): 118-122.
- Cui Y, Wei M. Preliminary exploration of talent cultivation model oriented by innovation and entrepreneurship ability in biomedical engineering: A case study of Shenyang Pharmaceutical University[J]. Researches in Higher Education of Pharmacy, 2025, 43(2): 118-122.
- [14] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- Zhong D H. Connotations and actions for establishing the emerging engineering education[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2017(3): 1-6.
- [15] 宋莹, 王兴芬, 张伟. 新工科背景下多学科交叉融合的大数据人才培养新模式探索[J]. 创新教育研究, 2019, 7(5): 608-614.
- Song Y, Wang X F, Zhang W. Exploration of a new mode of big data talents training with multidisciplinary interdisciplinary integration under the background of new engineering subjects[J]. Creative Education Studies, 2019, 7(5): 608-614.
- [16] 林健. 谈实施“卓越工程师培养计划”引发的若干变革[J]. 中国高等教育, 2010(17): 30-32.
- Lin J. On some changes caused by the implementation of "Excellent Engineer Training Plan"[J]. China Higher Education, 2010(17): 30-32.
- [17] 耿有权, 张译丹. 如何在本科阶段培养跨学科人才: 以哈佛大学生物医学工程学科为例[J]. 高教探索, 2024(1): 61-67, 105.
- Geng Y Q, Zhang Y D. How to cultivate interdisciplinary talents at the undergraduate stage [J]. Higher Education Exploration, 2024(1): 61-67, 105.
- [18] 彭丽萍, 熊宏齐. 基于信息化平台的高校实验耗材管理与实践[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(4): 262-266.
- Peng L P, Xiong H Q. Management and practice of university experimental consumables based on information platform[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2022, 41(4): 262-266.
- [19] Singh A, Ferry D, Balasubramanian S. Efficacy of clinical simulation-based training in biomedical engineering education[J]. Journal of Biomechanical Engineering, 2019, 141(12): 121011.
- [20] 李华, 曾浩, 梁永波. 生物医学工程类专业课程实践教学教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(3): 29-36.
- Li H, Zeng H, Liang Y B. Reform of practical teaching in biomedical engineering courses[J]. Journal of Electrical & Electronic Education, 2024, 46(3): 29-36.
- [21] 薛慧君, 焦腾, 吕昊, 等. “双导一体”模式下生物医学工程专业电子技术实践教学探索[J]. 北京生物医学工程, 2024, 43(4): 409-414.
- Xue H J, Jiao T, Lyu H, et al. Exploration on electronic technology practice teaching of biomedical engineering undergraduate based on "double guidance and one subject" model[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2024, 43(4): 409-414.
- [22] 朱继翔, 阳范文. 新工科背景下的生物医学工程实践教学研究[J/OL]. 科教导刊(电子版), 2023(21): 240-242.
- Zhu J X, Yang F W. Research on practice teaching of biomedical engineering under the background of new engineering[J/OL]. The Guide of Science & Education, 2023(21): 240-242.
- [23] 梁爽, 陈艺丹, 王贵学. 新工科建设背景下高校研究生培养探索与实践: 以生物医学工程学科为例[J]. 高等建筑教育, 2021, 30(5): 39-45.
- Liang S, Chen Y D, Wang G X. Exploration and practice of university graduate cultivation under the background of emerging engineering construction: Take Biomedical Engineering as an example[J]. Journal of Architectural Education in Institutions of Higher Learning, 2021, 30(5): 39-45.
- [24] 宫琴. 生物医学工程专业综合训练实践教学教学改革[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(9): 135-139.
- Gong Q. Reform of practical teaching of biomedical engineering professional comprehensive training[J]. Experimental Technology and Management, 2013, 30(9): 135-139.
- [25] 葛欢欢. 基于 OBE 理念的高校混合式教学课程设计研究[J]. 教育创新与实践, 2025, 1: 1-6.
- Ge H H. Research on the curriculum design of hybrid teaching in universities based on OBE concept[J]. Journal of Educational Innovation and Practice, 2025, 1: 1-6.
- [26] 龙玉珠, 严克桃, 熊华玉. 跨学科教育改革: 构建交叉学科学生能力培养的新模式[J]. 创新教育研究, 2025, 13(2): 98-104.

- Long Y Z, Yan K T, Xiong H Y. Interdisciplinary education reform: The construction of a new model of interdisciplinary student ability training[J]. *Creative Education Studies*, 2025, 13(2): 98-104.
- [27] 王咸文, 赵发全. 新医科背景下生物医学工程专业人才培养体系的改革与重构[J]. *教育进展*, 2026, 16(2): 1137-1144.
- Wang X W, Zhao F Q. Reform and reconstruction of the talent cultivation system for biomedical engineering under the background of new medical science[J]. *Advances in Education*, 2026, 16(2): 1137-1144.
- [28] 刘小丽, 刘焕舒, 贾璐, 等. 生物医学工程专业本科生毕业实习课程体系研究[J]. *医疗卫生装备*, 2024, 45(9): 89-94.
- Liu X L, Liu H S, Jia L, et al. Curriculum system of graduation internship for undergraduate students majoring in biomedical engineering [J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2024, 45(9): 89-94.
- [29] 李名石, 任瑜, 杨悦. 美国药品说明书管理研究[J]. *中国药物警戒*, 2014, 11(12): 739-742, 745.
- Li M S, Ren Y, Yang Y. Study on package inserts management of America[J]. *Chinese Journal of Pharmacovigilance*, 2014, 11(12): 739-742, 745.
- [30] 李利. 建立健全科学高效权威的药品监管体系[J]. *中国信用*, 2023(12): 10-13.
- Li L. Establish and improve a scientific, efficient and authoritative drug supervision system[J]. *China Credit*, 2023(12): 10-13.

## Construction and Practicing the University-Enterprise-Hospital Collaborative Education System: A Case Study of Interdisciplinary Talent Cultivation in Biomedical Engineering at Shanghai Jiao Tong University

YU Hailong, CHEN Yao, WANG Fu, LIN Guanning\*

*School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China*

### Highlights

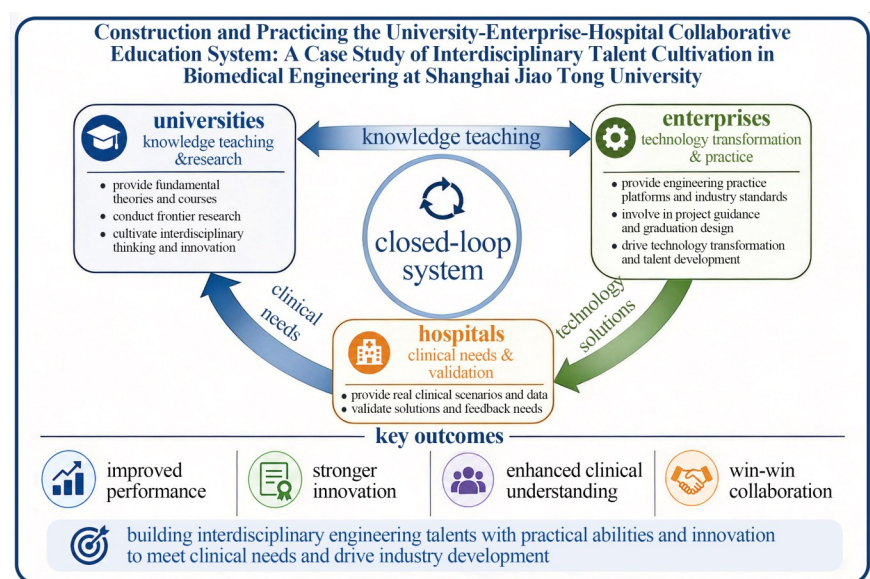
Proposes a “university-enterprise-hospital” trinity system to tackle fragmented knowledge in BME education.

Integrates knowledge transfer, technology conversion, and clinical validation into a closed-loop training pathway.

Employs dynamic curricula and multi-sector mentorship to bridge the gap between theory and clinical practice.

Demonstrates enhanced student innovation and problem-solving abilities through real-world collaborative projects.

### Graphical Abstract



**Abstract:** Talent cultivation lies at the core of higher education, and practical and innovative education is a vital component for

developing students' ability to solve complex problems and adapt to the workplace. Biomedical Engineering (BME) is a typical interdisciplinary discipline that integrates engineering, biology and medicine. It supports the research and manufacturing of medical devices and facilitates the progress of clinical medicine, playing a fundamental role in advancing the Healthy China Initiative. Nevertheless, the conventional BME training mode faces two prominent drawbacks. On the one hand, the curriculum is poorly connected and fragmented due to disciplinary barriers. Most teachers have single disciplinary backgrounds, making it hard to guide students to combine theoretical knowledge with practical work. On the other hand, colleges and universities lack adequate clinical practice conditions. Restricted by funding, venues and management rules, campus laboratories can hardly simulate real clinical diagnosis and treatment environments. Students are only accessible to basic experimental prototypes rather than professional clinical equipment, and their design works cannot undergo real clinical tests, which greatly limits their ability to discover and address practical problems.

To tackle these challenges, this research builds a practical and innovative competency training system based on university-enterprise-hospital collaboration. The three parties work together to integrate their respective strengths: universities take charge of knowledge teaching and cutting-edge research, and dynamically adjust courses according to clinical and industrial demands; enterprises act as the bridge for technological transformation, providing professional engineering practice platforms, following industrial standards and guiding students to complete graduation projects; hospitals supply authentic clinical scenarios, medical data and verification conditions, and put forward practical technical demands for talent training and product development. The whole system forms a complete closed-loop training path of knowledge transfer, technology conversion and clinical validation. Meanwhile, the research redefines teaching objectives to keep pace with industrial development and regulatory requirements, builds a knowledge framework covering technology, industry supervision and professional ethics, and enriches teaching content by introducing cutting-edge technologies and practical cases from enterprises and hospitals. A diversified evaluation mechanism is also established, with teachers, enterprise experts and clinical specialists jointly assessing students' systematic thinking, cross-domain collaboration and innovation transformation capabilities.

This collaborative training model has been fully implemented in undergraduate graduation projects and professional internships at the School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University. Since 2021, the college has launched university-enterprise joint graduation projects. Each project is completed by teams of two to three students under the joint guidance of campus teachers and enterprise mentors, and clinical experts are invited to conduct demand analysis and result verification. Up to now, 24 students have taken part in these projects. Statistical data shows that their average score of graduation projects reaches 80.2 points, obviously higher than their usual academic average of 73.5 points. These students also gain advantages in applying for patents and software copyrights, and receive more job offers from cooperative enterprises. Three representative projects, including the automated anti-defibrillation testing system for medical devices and the ECG data analysis evaluation system, have successfully solved real industrial pain points and achieved practical application value.

In terms of professional internships, students receive all-round immersive clinical training covering ten major medical fields at Shanghai Sixth People's Hospital. The internship assessment system has been optimized with added project defense sessions, which are evaluated by a joint panel of university, enterprise and hospital staff. Post-internship questionnaires indicate that 95% of students have greatly deepened their understanding of clinical needs, and 90% feel more confident in solving practical problems. In the 2025 National University Students' Biomedical Engineering Innovation and Design Competition, the award-winning rate of student teams with internship experience increased by 20% compared with the previous year.

The practical results prove that this tripartite collaboration mode effectively integrates the education chain, industrial chain and innovation chain, and breaks the isolation between disciplines and industries. The triple-mentor guidance mode helps students consider technical feasibility, clinical applicability and relevant norms at the early stage of design, significantly improving their comprehensive literacy as interdisciplinary engineering talents. It is worth noting that the stable operation of this system depends on high-quality medical resources and in-depth cooperation with leading enterprises, which brings certain difficulties for colleges with insufficient resources. In the future, the research team will explore promotion strategies such as building regional university-enterprise-hospital alliances and virtual teaching organizations to reduce implementation thresholds. This training system offers a feasible and replicable practical paradigm for interdisciplinary engineering talent cultivation, and will help cultivate more high-caliber BME professionals to meet the talent needs of the Healthy China Initiative.

**Keywords:** Biomedical Engineering; university-enterprise-hospital collaboratio; closed-loop training system; interdisciplinary talent cultivation; Healthy China Initiative