

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2022.04.008

# 关于生物医学工程研究生培养改革的思考与探索

谢蒙蒙, 周越, 叶坚

(上海交通大学生物医学工程学院, 上海 200030)

**【摘要】** 生物医学工程作为新兴交叉学科, 在国家战略背景下, 对人才培养提出了更高的要求, 现有的培养模式难以实现培养目标, 需要不断改革创新。该文分析了目前高校生物医学工程专业研究生培养存在的普遍问题, 并以上海交通大学生物医学工程专业为例, 从课程体系调整、医学类课程和实践育人环节的增加等方面实施了一系列的改革措施并提出进一步发展的思考, 以期大幅提升教学质量, 完善我国生物医学工程专业的研究生人才培养体系, 提升研究生医工融合能力、产学研践行能力, 造福人民健康。

**【关键词】** 生物医学工程; 研究生培养; 教学改革

**【中图分类号】** R318, G642

**【文献标志码】** A

**文章编号:** 1674-1242(2022)04-0246-05

## Exploration on the Reform of Graduate Education of Biomedical Engineering

XIE Mengmeng, ZHOU Yue, YE Jian

(School of Medical Engineering Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**【Abstract】** With the development of national strategy, higher requirements have been put forward towards the education mode for the graduate students major in Biomedical Engineering (BME). BME is an emerging interdisciplinary subject. Since the existing training mode was insufficient in achieving educational objectives, innovational reform is of urgent need. In this paper, commonly existing problems in graduate education in BME among colleges and universities were analyzed in detail. A case study of graduate education reform in Shanghai Jiao Tong University Biomedical Engineering major was conducted. Taking the BME major of Shanghai Jiao Tong University as an example, a series of reform measurements were implemented including the adjustment in curriculum system, addition of medical courses and hands-on practices. Moreover, further reform strategies are also under consideration. In this way, we hope that the quality of teaching together with the talent training system of BME in China will be improved to boost graduate students' comprehensive capabilities both in the integration of medicine-engineering and in the practice of industry-academia-research and finally to benefit people's health.

**【Key words】** Biomedical Engineering; Graduate Education; Teaching Reform

### 1 引言

研究生教育承担着为党和国家培养高层次人才的重要任务, 是我国最高层次的学历教育。中华人民共和国成立 70 多年来, 我国已累计培养了 1000 多万名博士研究生和硕士研究生。2020 年,

在读研究生的规模多达 300 万人, 因此我国已成为规模位居世界前列的研究生教育大国。

2020 年 7 月召开的全国研究生教育会议开启了新时代研究生教育发展的新篇章, 将研究生教育上升到优先发展的位置, 为研究生教育改革与发展、研究生教育兴国强国指明了方向。同年发

收稿日期: 2022-10-22

作者简介: 谢蒙蒙, 女, 上海交通大学生物医学工程学院研究生教务

通信作者: 叶坚, 男, 上海交通大学生物医学工程学院副院长, E-mail: yejian78@sjtu.edu.cn

布的《关于加快新时代研究生教育发展的意见》展示了研究生教育新蓝图,标志着中国研究生教育发展迈上新台阶、进入“快车道”。该意见明确提出,将“立德树人、服务需求、提高质量、追求卓越”作为工作主线,从加强思想政治教育、深入推进学科专业调整、完善人才培养体系、提升导师队伍水平、严格质量管理、加强条件资源保障六个方面提出了一系列改革举措。

生物医学工程是一个综合工程学、生物学和医学,运用物理、材料、化学、信息和工程领域的技术研究和解决生物学和医学中有关人类健康、疾病诊疗和康复等问题的新兴交叉学科<sup>[1]</sup>。在“健康中国”战略的指导下,研究生教育发生了重大调整,教育部大幅增加专业学位研究生招生数量,并增设“交叉学科”门类。生物医学工程作为典型的交叉学科,其学科发展、专业建设和人才培养显得尤为重要。然而,对比国际生物医学工程专业的发展,我国高校现阶段生物医学工程专业的研究生培养模式、教育理念和课程体系仍处于探索阶段。因此,面对当前研究生教育改革的浪潮,各高校关于生物医学工程专业的人才培养机制改革、人才培养模式创新需进一步加大力度,进一步优化学科专业结构,探索新时代背景下的课程体系改革,以高速度、高质量地推进改革来适应国家发展的需要。

本文以上海交通大学生物医学工程专业的研究生培养机制改革为例做一些思考与探索。

## 2 生物医学工程专业研究生培养的现状

### 2.1 本科课程体系不健全,上下脱节,影响研究生阶段的培养

2022年,美国的约翰斯·霍普金斯大学生物医学工程专业连续第四年在全美生物医学工程专业研究生阶段排行榜中排名第一,这与该校同样排名第一的生物医学工程专业本科阶段是分不开的。约翰斯·霍普金斯大学生物医学工程学科形成于20世纪六七十年代,逐步建立了一套完整的生物医学工程课程体系,该课程体系被称为BME 1.0。这些课程从生物医学的角度介绍核心的工程原理,也会从工程的角度来教授生物和医学知识。该课程体系包括模型和模拟,信号、系统和控制,统计力学和热力学,系统生物(特别强调细胞和

分子生物学),以及人体各系统,如心血管系统、神经系统等。21世纪,科技飞速发展,生物医学工程专业培养的新一代工程师必须能够引领21世纪的生物医学发现和创新。目前,生物医学工程课程体系已经演化到BME 2.0。BME 2.0将最新的研究突破转化为本科教育,其下覆盖的每个领域都建立在生物医学研究前沿的重大发现之上,与《自然·生物医学工程》杂志所定义的生物医学工程的学科领域一致。BME 2.0重点领域允许本科生获得传统上只能在研究生阶段才能接触的具有高级学科深度的知识,为大三和四大的学生提供灵活性,根据他们的兴趣和职业目标实施个性化教育,也为他们研究生阶段的继续探索打下基础。

长久以来,我国高等教育实行本科、硕士、博士分段式培养模式,其中硕-博贯通人才培养模式较为成熟,而本科教育与研究生教育却泾渭分明<sup>[2]</sup>。本科教育分段式培养模式使得有志于深造的学生无法获得全面的学术预备,易导致研究生教育质量出现危机。因此,本-研贯通人才培养模式符合卓越人才的成长规律。然而,对于我国的生物医学工程专业,这种培养模式目前仍处于探索阶段,还未真正实现本-研有效衔接。

### 2.2 专业培养特色不突出,医工融合不深入

当前,不同院校的生物医学工程专业师资来自不同的学科背景,专业建设基础、课程体系等各有差异,但普遍存在医工结合不紧密、专业培养特色不突出等问题,从而导致学生专业素质和创新能力与社会要求差距较大。

有的院校的生物医学工程专业,工程力量雄厚,能够快速、高效地进行新技术、新方法、新设备的研究,并能够在医学领域找到相应的应用,但是缺少医学背景和资源,其科学研究在真正用于解决临床医学实际问题方面还比较薄弱,其优势更适合于培养基础研究型生物医学工程人才。而医学背景深厚、临床资源丰富的院校的生物医学工程专业,与临床医学密切相关,能迅速发现有实际意义的应用型课题,能为医院和临床迅速解决实际问题,但工程技术基础相对薄弱,其培养模式较前者更适合于应用型复合技能型的生物医学工程人才。两者皆有一定的局限性。当然,目前也有少量的综合性大学,如上海交通大学,

既拥有全国一流的工科,也拥有全国一流的医学,还拥有12家附属三级医院、全国名列前茅的临床医学和基础医学、全国第一个建立的“转化医学国家重大科技基础设施(上海)”。在这样的大学里进行医工融合的研究生培养更具有优势。

### 3 上海交通大学生物医学工程专业人才培养体系的改革探索

上海交通大学生物医学工程专业的人才培养目标可归纳为:(1)具备远大理想,服务“健康中国”国家战略;(2)具备基础创新能力和临床应用转化能力;(3)具备多学科医工交叉和系统化整合的研究能力;(4)具备国际化视野,善于沟通和团队合作。

结合人才培养目标以及当前生物医学工程专业人才培养普遍存在的问题,我们要让学生有扎实的专业研究基础、有专业前沿知识的储备、有科学创新的能力,并不断加强他们的医工融合、快速适应企业的能力等。因此,当前上海交通大学生物医学工程专业针对研究生培养改革的主要措施为:优化课程体系,不断提升教师授课质量,完备学生的专业知识架构;加强与医学院的合作,逐步丰富医学类课程;加强与企业、医院的合作,提升学生的专业实践能力;举办丰富的专业研究体验的竞赛、论坛;等等。

#### 3.1 优化课程体系,构建新格局

课程体系是人才培养的主要载体,是专业人才培养方案的核心内容,关系人才培养目标的实现和专业培养标准的落实<sup>[3]</sup>。上海交通大学生物医学工程专业研究生课程体系:(少量)公共基础课—(少量)核心专业基础课—(大量)专业前沿课和专业选修课。

公共基础课,注重对学生基本功的训练与培养,对学生形成良好的学术素养具有十分重要的作用。例如,“学术写作、规范与伦理”主要讲授学术研究的基本规范,包括学术论文写作与发表的基本规范、实验设计与数据采集和分析中的规范、违反学术道德的惩罚机制;在介绍基本学术规范的基础上,进一步通过人文社科、工程、理科、生命等学科的大量案例,介绍不同学科领域特有的学术规范,以及违反学术道德规范后果。“科技英语写作与交流”主要传授学生用英语撰写学术论文并将其发表在国际学术期刊上,以及用英语在国际学术会议上作口头报告的技巧。

核心专业基础课,主要涉及生物医学工程专业领域发展最核心的知识、原理、规律和方法等,如培养学生专业实验数据分析、实验设计等研究能力(以下具体介绍上海交通大学生物医学工程专业研究生核心专业基础课的建设)。

专业前沿课和专业选修课,主要介绍医学影像、疾病诊断技术等多个领域的最新技术知识,充分考虑学生科研需求,补足学生专业知识空缺,拓宽学生视野,激发学生研究兴趣,进一步提升学生的创新能力。例如,专业前沿课“医学影像技术前沿”主要是让研究生在医学影像前沿技术的理论知识和实践技能上有较大的提高,更加有效地开发和利用医学影像前沿技术,更好地做出高水平研究成果,为中国的医疗器械行业做出贡献。“癌症研究、诊断和治疗的前沿进展”主要讲授癌症领域的前沿知识,特别是癌症的最新诊断技术和治疗方案的进展,为学生了解并进入癌症研究领域提供必要的前沿知识。专业选修课“神经调控技术”的内容涵盖基于光、声、电、磁这四种模态的物理刺激的神经调控技术,主要介绍这些技术的发展历程、关键调控技术、神经调控效应的检测技术、神经调控的神经生物学基础、神经调控技术的挑战及发展趋势,以及神经调控技术在脑功能研究和脑疾病治疗的典型应用,对于学生进行脑科学等研究有重要作用。

根据学术方向的不同,目前上海交通大学生物医学工程专业形成了“纳米、分子及再生医学”“生物医疗仪器”“影像、计算及系统生物学”三大方向。根据这三大方向,经过讨论、凝练,每个方向都建有一门最重要的核心专业基础课,分别为“分子纳米医学工程”、“生物医学信号处理与数据分析”和“生物医学实验设计与分析”。其中,“分子纳米医学工程”从分子与纳米尺度基本规律的视角,重新认识与疾病发生、发展相关的生命过程,介绍相关的疾病诊疗工具和方法,展示细胞纳米、分子尺度上的生物医学工程学的发展全景,已成为上海交通大学生物医学工程专业的研究生特色课程;“生物医学信号处理与数据分析”主要介绍生物医学信号处理的基本理论、生物医学数据的统计分析方法及应用,涵盖生物医学信号处理与分析的滤波与降噪、预处理技术等内容,通过课程授课与项目实践的方式来进行教学;“生物医学实验设计与分析”聚焦实验设计原则、假设检验的

方差分析技术、区组设计、析因实验设计等重要内容, 同时还结合生物医学工程领域的真实数据进行实例讲解和练习, 增加学生对实验设计及数据处理的理解和掌握。这三门核心专业基础课为研究生在生物医学工程相关领域的深入学习和后续的科学研究的打下了坚实的基础。

### 3.2 医工双导师, 增加医学类课程, 加大医工融合的研究和应用

国内大部分生物医学工程专业(包括上海交通大学生物医学工程专业)研究生主要的生源是没有医学背景的理工科或者生物专业的学生, 非常缺乏医学的相关知识。针对这个问题, 上海交通大学早在2007年就创立了医工双导师的联合培养模式, 依托学校的“医工交叉研究基金”, 在全国高校中率先提出了理工科学院、医学院、附属医院“三位一体”的医工交叉博士生创新培养模式。

同时, 在研究生培养方案中, 上海交通大学生物医学工程专业特别加入了医学类课程, 目前已开设“正常人体学导论”和“临床医学概要”两门医学类课程, 充分对接医学院和医院的临床资源, 邀请医学院的教授及医院的临床医生来给学生授课。例如, “正常人体学导论”中添加了大体解剖的实习内容和人体器官系统介绍等理论知识, 采用“进入手术室或临床科室”的教学模式, 增加临床医生进入课程授课的频率。“临床医学概要”涵盖了临床各科常见病、多发病的基本理论、基本知识, 使生物医学工程专业的学生和医学院乃至临床对接科室的医生直接面对面交流, 充分对接上海交通大学生物医学工程专业的重点研究领域, 为研究生后期临床实践类课程的开展提供了必要的知识储备。

我们期望通过医学类课程的引入, 夯实学生专业基础, 拓宽专业广度, 延伸专业深度, 加深学生的专业思考能力并提升创新能力, 培养具有适应现代化建设, 面向未来医疗健康产业发展需要, 具备扎实的数理基础、临床医学和工学等基础专业知识的复合型创新人才。

### 3.3 增加课程实践、企业和医院实习, 深化产教融合

实践教学是人才培养模式的重要组成部分, 是培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的生物医学工程专业学生的重要环节。上海交通大学生物医学工程专业预计在4~5年内逐步达到每门课都有实践内容, 进一步突出实践教学在人才

培养中的重要地位。同时, 加速推进学生进入“分子与纳米转化医学”和“医疗机器人”等学院的产业化实践基地进行基础科学研究或应用技术的开发体验, 切实加强其实践类学习。

当前, 我国正处在产业结构调整的关键时期, 构建新发展格局、推动高质量发展, 不仅需要培养大批拔尖创新人才来突破“卡脖子”技术, 也需要培养大量的高层次技术人才来推动传统产业转型发展。因此随着教育部对专业学位研究生(包括专业硕士和专业博士)培养的愈加重视, 上海交通大学生物医学工程专业与国内医学影像和医疗机器人等领域的头部企业建立了专业学位研究生的产教融合联培基地, 为学生提供了相当长时间(1~3年)进入企业、切实体验科学研究在实际中的应用的机会, 进而提高他们的科研应用转化和创新实践能力。与此同时, 上海交通大学生物医学工程专业还与合作企业共同开设了“生物医学工程创新实践-产学研结合”课程, 该课程由校内专业教师和企业技术骨干共同授课, 以市场需求为导向, 以实践能力培养为核心, 以项目式教学为抓手, 让学生体验项目推进的全过程, 促进学生深入了解企业研发产出与科研的关系。另外, 实践课程“生物医学工程创新实践-医工交叉”依托上海市三甲医院资源、上海市医疗器械检测所等单位, 采用理论讲授、临床参观及动手实践相结合的方式, 旨在加深硕士研究生对医疗器械在临床使用中的认识, 以及对开发具有我国自主知识产权医疗器械的紧迫性的理解, 并系统培养高端医疗仪器开发人才。

通过资料查询发现, 全球医工交叉做得比较好的项目, 如麻省理工—哈佛医学院的联合项目、新加坡国立大学—杜克大学的联合项目, 都要求来自理工科背景的学生进入临床实习半年以上才可以展开基础研究。这也是上海交通大学生物医学工程专业在未来1~2年内对研究生培养方案进行改革的重点内容之一。目前, 我们也在进一步探讨校、企、医三方联动和联合培养的新模式, 进一步整合三方平台和资源, 为生物医学工程专业研究生培养提供新思路。

## 4 提升研究生教学质量的举措

### 4.1 创新教学模式

我们应不断适应时代需求、当代学生特点, 逐

步探索新的教学模式。例如,在课堂教学中,将传统的“教学”转为“学教”,开展线上线下混合式教学。从约翰斯·霍普金斯大学教学经验中也了解到,他们鼓励授课教师适当增加小组讨论,以此提高学生课堂上的注意力、参与度及思考力度。另外,还可以进一步加强校企联动,邀请企业专家、医生来授课或者定期带领学生去企业、医院等一线场所直观领悟专业知识应用,加深其对知识的学习与理解。例如,上海交通大学生物医学工程专业开设的课程“转化医学实践”(课程内容涵盖从文章到专利和商业计划)主要围绕专利和商业计划进行讲授和实践,邀请企业专家进行案例分析和实践,让学生对转化医学的实际应用有进一步的认识,从而丰富之前的知识体系框架,为学生在未来的研究和工作中提供一个初步的基础,得到了学生的良好反响。

#### 4.2 组建教学团队

目前,上海交通大学生物医学工程专业随着新进教师人数的增加,有的新进教师难免在教学方面会有“单兵作战”的状态,不利于协作互补,发挥群体效能,达到“1+1>2”的效果。因此,上海交通大学生物医学工程专业建议每位新进教师至少加入一个优秀教学团队,以“优”带“新”,传承优良做法,不断创新,进一步形成自己的相对成熟且富有个性化的教学模式。例如,近年来,课程“学术写作、规范与伦理”不断邀请新进教师参与课堂授课,使其定期参加课程研讨会,增加授课经验,不断完善其授课方式方法。

#### 4.3 定期举行教学沙龙、课程回顾,提升教学质量

定期举行教学沙龙、课程回顾等活动,综合优秀教学案例,整合优秀教学方法,解决教学问题,不断提高授课教师的整体专业水平和教学能力。同时,不断完善专业课程教学评价实施细则、教学奖惩制度等,通过教学督导、同行听课评价等方式,督促授课教师不断自我进步。

#### 4.4 其他特色举措

近年来,上海交通大学生物医学工程学院也实行了一系列促进学生专业研究交流、提升专业培养的举措。例如,建设医工交叉类课程、与医学院联

合举办“医工交叉博士生论坛”、创业类大赛、国际暑期学校,鼓励学生参与上海交通大学博士生“致远荣誉计划”等,通过课内外、实验室内外的教学活动,加强学生对医工知识的融合、对应用转化能力的提升。

## 5 结论

经过以上改革措施,上海交通大学生物医学工程专业的研究生有了更加清晰的课程学习体系,培养计划制订得更加贴近专业研究需求;实践类课程真正实现与企业生产创新和应用相结合,使学生能够实际参与项目研究;教学相长,教师授课质量随时受到学生的检验;各培养项目学生人数逐年增加,如参与“致远荣誉计划”的学生人数、各专项学生人数逐年增加,并得到校、企好评;参加创新创业大赛项目人数逐年增加,并取得良好成绩(取得“挑战杯”国赛一等奖、中国大学生服务外包创新创业实践类国赛二等奖等)。上海交通大学生物医学工程专业的培养改革以不断完善研究生知识架构为引导,不断加强课程体系建设、修订和完善课程设置及教学内容等,不断探索和创新教学模式,以期推动我国生物医学工程专业研究生人才培养体系健康快速发展,提升研究生医工融合能力、产学研结合能力,造福人民健康。

#### 参考文献

- [1] 汤池,卢杨,于霄,等.生物医学工程专业研究生课程体系改革与构建[J].*中国医学装备*,2017,14(3):137-140.  
TANG Chi, LU Yang, YU Xiao, et al. Reformation and reconstruction of graduate curriculum system for biomedical engineering [J]. *China Medical Equipment*, 2017,14(3):137-140.
- [2] 闫广芬,尚宇菲.本研贯通人才培养模式的核心要义及发展路向[J].*研究生教育研究*,2020(2):34-39+73.  
YAN Guangfen, SHANG Yufei. The Core Meaning of Successive Bachelor/Master Cultivation Mode and Its Development Direction [J]. *Journal of Graduate Education*,2020(2):34-39+73.
- [3] 林健.新工科专业课程体系改革和课程建设[J].*高等工程教育研究*,2020(1):1-13+24.  
LIN Jian. The Curriculum System Reform and Courses Construction of New Engineering Majors [J]. *Research in Higher Education of Engineering*,2020,(1):1-13+24.