

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2023.03.015

# 生物医学工程专业本科生实践能力培养探讨

于海龙, 秦方雨, 郑中豪, 孙建奇  
(上海交通大学生物医学工程学院, 上海 200030)

**【摘要】**生物医学工程作为一门交叉学科, 近年来发展迅速, 其相关产业呈现蓬勃发展的态势。然而, 当前国内在生物医学工程专业本科生的培养过程中, 实践环节强度不足的问题仍然存在, 这导致本科毕业生的综合能力难以满足行业和科研需求。该文通过对比国内外高校的培养方案, 并结合国内行业发展现状, 提出了生物医学工程专业本科生培养计划中实践类课程教学环节的改进思路。

**【关键词】**生物医学工程; 本科生培养; 实验教学; 医疗器械产业

**【中图分类号】**R318, G642

**【文献标志码】**A

文章编号: 1674-1242(2023)03-0319-06

## Discussion on the Training of Practical Ability of Undergraduate Education of Biomedical Engineering

YU Hailong, QIN Fangyu, ZHENG Zhonghao, SUN Jianqi  
(School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**【Abstract】**As an interdisciplinary subject, Biomedical Engineering (BME) has developed rapidly in recent years, and its related industries have shown a booming trend. However, in the current domestic undergraduate training process of BME, the problem of insufficient practical training still exists, which leads to the difficulty of graduates' comprehensive ability to meet the needs of the industry and scientific research. By comparing the training programs of domestic universities and foreign universities and combining with the development status of domestic industry, this paper puts forward the improvement ideas of practical course in the training plan of undergraduate students in BME.

**【Key words】**Biomedical Engineering, Undergraduate Training, Experiment Teaching, Medical Device Industry

### 0 引言

生物医学工程是一门交叉学科, 需要医学、生物学、工程技术学三者的高度融合, 才能发挥各自的新型应用<sup>[1]</sup>。同样, 生物医学工程专业的本科生培养需要将多种学科知识与多种教学环节有机组合, 以实现本科生毕业后向工作或继续深造的顺利过渡。作为新兴的交叉学科, 生物医学工程涵盖庞大的知识体系, 具有学科知识涉及范围广的特点<sup>[2]</sup>, 具体涉及生物力

学、生物材料、影像处理、医用仪器等多方面的内容。

由于生物医学工程学科成立时间短且具有交叉性, 因此在本科生教学方面设置了许多从相关学科引进的课程。例如, 在理论课程方面, 很多高校的生物医学工程专业将“细胞生物学”设置为必修课, 该课程原本是同为一级学科的生物工程专业的主干课程。同样, “自动控制原理”通常作为生物医学工程专业的选修课, 该课程原本是控制科学与工程专业的核心

收稿日期: 2023-07-22

作者简介: 于海龙(1984—), 男, 黑龙江省绥化市人, 博士研究生, 从事医疗机器人控制、生物电信号模式识别等研究, E-mail: haigou5514@sjtu.edu.cn。

通信作者: 孙建奇(1981—), 男, 江苏省泰州市人, 博士研究生, 从事智能医学图像处理和医疗仪器研发等研究, E-mail: milesun@sjtu.edu.cn。

课程。目前,这类理论课程经过生物医学工程专业的授课教师结合自身教学与科研经验的精心打磨,基本能够体现专业特色。然而,在实践教学方面,目前仍缺乏能够深度体现生物医学工程专业学科特色、提升学生工程综合素养与创新能力的实践类课程<sup>[3]</sup>。总体而言,国内生物医学工程专业在实践教学方面存在一些有待解决的问题,如缺乏针对性、与行业需求脱节、教学实验平台与资料体系亟待完善等,导致本专业相关企业单位普遍反映本科毕业生很难立即适应工作,需要经过相关培训才能满足岗位要求,间接增加了企业、社会的成本<sup>[3]</sup>。

造成实践类课程教学环节力度不足的主要原因是高校中普遍存在重视“学”、轻视“习”的问题。由于学生的评优、保研政策与教师的奖惩机制不完善,学校的教育资源与师资资源不平衡等,导致本科生的培养重心一直在理论教学方面,实验、实践类课程教学环节则未得到充分的重视。实践类课程教学环节管理不充分,导致本科毕业生普遍存在高分低能、眼高手低的现象,缺乏分析、解决问题的综合素质。学生所学的理论知识与实际应用脱节,会导致本科毕业后很难快速融入工作或科研中<sup>[4]</sup>。

本文经过调研多所高校的本科生培养方案,发现国内众多高校开始重视生物医学工程专业实验教学,并采取了相应的改进措施。例如,有些高校在实践类课程中加入了呼吸机样机设计,心电、血压等生理参数测量与检测等内容,该措施对学生的综合能力提升有良好的效果。然而,随着大数据、人工智能等新兴科技的发展,实践类课程教学环节仍然存在很大的改进空间。尤其是在选题内容的挑战性、前沿性、综合性等方面,需要不断地总结与改进。

因此,如何在生物医学工程专业本科生培养课程体系中通过实践类课程汇聚专业知识内容,体现学科广度与深度,贴合新兴科技与产业,提升学生对理论知识的认知,避免浅尝辄止,提升学生实践能力和激发学生创新能力,是该专业面临的一个重要问题。

本文通过分析并对比生物医学工程专业本科生国内外培养模式,结合当前国家战略要求与行业背景,以上海交通大学生物医学工程专业本科生培养为例,针对实践类课程教学环节提出改进方法,并提出具体的建设思路与预期成果。

## 1 国内外生物医学工程专业培养方案对比

### 1.1 国际方面

生物医学工程专业在美国启蒙较早,因此结合自身特点,该专业探索出了跨学科的课程机制。根据约翰·霍普金斯大学发布的BME 2.0课程设计,课程主要聚焦7个领域,分别是Biomedical Data Science, Computational Medicine, Genomics and Systems Biology, Imaging and Medical Devices, Immunoengineering, Neuroengineering, Translational Cell and Tissue Engineering。这些领域与《自然生物医学工程》定义的生物医学工程学科保持一致,也代表了约翰·霍普金斯大学生物医学工程专业教师的研究实力。在《自然生物医学工程》定义的45个研究题目中,Biomedical Instrumentation, Biomedical Sensors, Medical Devices, Medical Robotics, Rehabilitation Engineering, Wearable Technology, Prosthetics等题目都具有极强的工科背景和内容。

BME 2.0的重点领域允许本科学生获得传统上只有研究生水平才能获得的高级学科的深度知识。通过这些重点领域,为本科学生在大三和大四学年提供灵活性,根据他们的兴趣和职业目标进行个性化教育。

约翰·霍普金斯大学的课程设置聚焦上述7个领域,紧密依托实验室资源,兼顾学科与产业。为培养学生的实践能力,该校要求学生在选课时必须聚焦其中一个方向,并选修该方向的21个学分课程,其中至少15学分来自高阶工程课程<sup>[5]</sup>。弗吉尼亚大学的生物医学工程专业规定学生每3周至少学习10小时的实验室课程<sup>[1]</sup>。

在课程内容设计方面,美国高校借鉴问题导向学习(Problem-based Learning, PBL)教学方法,引入基于项目的学习和基于产品的学习相关教育理念,以提升学生综合运用多学科知识解决实际问题的能力。例如,杜克大学设计的课程涵盖残疾人专用器械、医疗机械设计等主题<sup>[5]</sup>。学生通过调研用户需求、产品设计与研发、产品评估与团队管理等环节,将所学核心技能运用到真实世界。

### 1.2 国内方面

我国高校自1977年起,陆续设立了生物医学工程专业,为社会输送了大批人才。由于该专业是多学科在高水平领域的交汇,因此首批设置该专业的高校主

要集中在清华大学、浙江大学、西安交通大学、上海交通大学、东南大学、中国科技大学等科研水平高的大学<sup>[1]</sup>。作为新兴学科，生物医学工程的课程设置最初多引自其他学科，缺乏深度体现自身特色的课程，至今仍具有巨大的优化空间。随着生物医学工程学科和相关行业的飞速发展，生物医学工程专业的实践类课程相较于理论课，亟待改善内容和质量。

为深入了解实践类课程现状并针对性地提出改进方案，本文调研并对比了国内高校生物医学工程专业本科生人才培养方案，如图 1 所示。其中，浅蓝色长柱表示各高校培养方案中要求的毕业总学分 A，深蓝色长柱表示各高校培养方案中的实践类课程学分 B，虚线表示实践类课程学分占总学分的比例，即  $B/A \times 100\%$ 。

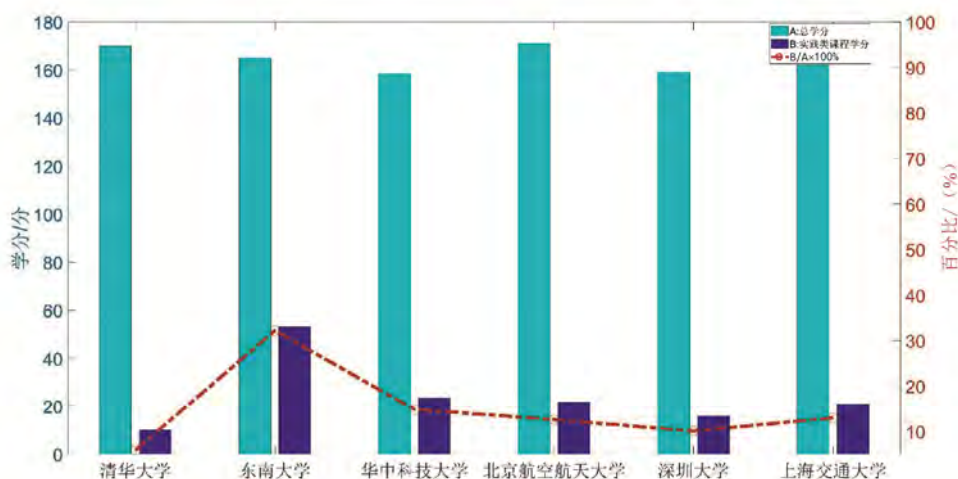


图 1 部分国内高校生物医学工程专业本科生人才培养方案分析

Fig.1 Analysis on the undergraduate training program of BME in some domestic universities

清华大学的生物医学工程学科成立于 1979 年，至今已有 40 余年的历史。该专业本科生培养分为两个方向：电子信息大类与化生类。前者致力于用电子、信息科学原理与技术，探索生命、医学与健康的新奥秘，研制创新型医学仪器、设备与系统。后者对化学、生命科学类核心课程的教学要求与清华大学化生类各专业相同。在此基础上，要求学生选修专业方向课程，掌握优秀的专业素养并领略学科前沿知识。特别强化实践环节，积极推进研究型教学，全方位锻炼学生的工程设计能力，激发其创新思维。本科生培养要求总学分不少于 170 分。其中，通识教育课程及环节 44 学分；电子信息大类学生的专业培养课程及环节 114 学分（包括基础课程 33 学分、专业主修课程 56 学分、实践环节和夏季学期课程 10 学分、综合论文训练 15 学分），学生自主发展课程 12 学分；化生大类学生的专业培养课程及环节 116 学分（包括基础课程 38 学分、专业主修课程 53 学分、实践环节和夏季学期课程 10 学分、综合论文训练 15 学分），学生自主发展课程 10 学分。

东南大学的生物医学工程学科在全国第四、五轮学科评估中均取得了 A+ 的优异成绩。根据其 2020 级生物医学工程本科专业本科生培养方案，课程类型可分为 3 类，分别是通识教育基础课程、专业相关课程与集中实践环节（含课外实践）&短学期课程。该专业要求最低计划学分 165 学分，其中集中实践环节（含课外实践）&短学期课程 36 学分，占总学分的 21.82%。在本科生培养方案中，实践类课程 53.19 学分，占总学分的 32.24%。

在华中科技大学的生物医学工程专业本科生培养计划中，要求完成学业最低课内学分 158.5 学分。其中，主要实践教学环节（含专业实验）主要有物理实验、电路测试基础实验、应用光子学基础实验、电子测试与实验、生物医学传感检测与仪器实验、生物医学数字信号处理实验、解剖与生理学实验、生物化学与分子生物学实验、认知实习、金工实习、电工实习、生产实习、科研训练、课程设计、毕业设计，共计 23.5 学分，占总学分的 14.8%。

北京航空航天大学生物医学工程专业人才培养

突出生物、医学和工程的融合，主要面向医疗器械及航空航天医学工程，同时注重在专业环境、学科氛围中培养学生的综合素质。根据其培养计划，该专业课程分为五大类，分别是公共基础类课程、学科与专业基础课程、专业课程、实践类课程和公共选修类课程。毕业生总学分要求为171学分，其中实践类课程要求为21.5学分，占总学分的12.57%。

深圳大学的生物医学工程专业于2006年组建，依托深圳市医疗器械产业优势，在教学、科研和人才培养等方面都取得了突出的成果。根据其2022级生物医学工程专业主修培养方案，该专业课程分为4个模块，分别是通识模块、专业模块、实践模块和创新创业模块。该专业总学分要求为159学分，实践模块学分要求为16学分，占总学分的10.1%。

上海交通大学生物医学工程学科的历史可追溯至1979年创办的生物医学仪器专业。2011年成立的生物医学工程学院，致力于医工、医理交叉研究和创新型人才培养。无论是从历史溯源还是从现在学院的人才培养目标来看，该专业在学生培养方面，实践综合能力都占有重要的地位。根据上海交通大学生物医学工程专业2022级的培养目标，课程类型可分为通识教育课程（要求最低42学分）、专业教育课程（要求最低87学分）、专业实践类课程（要求最低21学分）、交叉模块（要求最低6学分）、个性化模块（要求最低6学分）。毕业生要求最低162学分，专业实践类课程学分占总学分的12.96%。

相比而言，国内高校生物医学工程专业的本科生培养方案各具特色。清华大学的培养方案预留10学分的学生自主发展课程，为学生拓宽了个性化发展的空间。东南大学生物医学工程本科专业实践类课程占比最高，并且在专业相关课程中设置了多门校企合作课程。这对培养学生的综合能力、帮助学生开阔眼界有着很大的促进作用。本文认为，国内高校的生物医学工程专业本科生培养，应该继续加强对实践类教学的重视程度，凝练项目课题作为专业知识实践的载体，以成果为导向，细化过程管理，为学生提供更多学以致用的机会。

## 2 行业新形势对人才培养提出的挑战

随着“健康中国”战略的提出，国内医疗行业迎来了前所未有的机遇和挑战，也对人才的培养提出了

新的要求。《“健康中国2030”规划纲要》第六篇“发展健康产业”，第十八章“发展健康服务新业态”明确提到，“探索推进可穿戴设备、智能健康电子产品和健康医疗移动应用服务等发展”，第二十章“促进医药产业发展”整章部署了我国跨入制药强国的建设内容，包括生物药、化学药新品种、优质中药、高性能医疗器械、新型辅料包材和制药设备、康复辅助器具产业等。

由此可见，“健康中国”战略离不开医疗器械产业的发展，而产业的发展需要医工交叉的复合型人才。随着经济与技术的发展，我国的医疗器械和医疗机器人产业蓬勃发展，涌现出一大批优秀的企业，其技术和产品已经踏入“无人区”。未来，引领行业的工作将对从业人员的综合能力提出更高的要求。

随着我国创新驱动发展战略的深入实施，纵深推进大众创业、万众创新是其重要支撑。创新、创业不仅能够带动就业，而且能够促进我国工业、经济的高质量发展。大学生群体作为创新、创业的生力军，扮演着越来越重要的角色。生物医学工程专业的学生也在创新、创业的浪潮中获得了前所未有的机遇。然而，有研究发现，国内大学毕业生创业率总体低于1%，本科毕业生创业率略高于硕士、博士毕业生<sup>[6]</sup>。据统计，近3年上海交通大学生物医学工程专业共毕业本科生179名。其中，大部分毕业生选择继续深造，小部分毕业生选择在生物、医疗相关企业就业，鲜有选择创业的本科毕业生。

高校本科毕业生创业率不高的原因，除了与个人价值观、创业成本等相关，还与本科毕业生的综合能力紧密相关。以长三角地区为例，该地区拥有众多的医疗器械企业、良好的投资环境与政策支撑，为创新、创业提供了肥沃的土壤。然而，在产品设计与开发过程中，需要具备全面的系统知识，芯片的选型、机械加工的精度、数据处理甚至相关法规与政策都在考虑范围之内。不断涌现的创新、创业机遇对人才培养提出了更高的要求。因此，将提升科研、创新、沟通等综合能力的关口前移，开阔本科生的眼界，增强其自信心，至关重要。

## 3 实践类课程改革建议

综上所述，本文认为生物医学工程专业的课程体系存在很大的优化空间，本科生的培养需要更多实践

类课程的支撑,以提升学生的综合素养。尤其在当前产业形势下,该问题亟待解决。国外的培养模式是模块化课程设置,并依托实验室资源进行授课。该模式有助于提升学生的综合能力,并更快、更好地融入专业领域,具有一定的借鉴意义。

当前,国内本科生的培养计划主要依托课程的设置,很难进行模块化设置,或者依托实验室资源进行授课。因此,人才培养的优化,需要聚焦和落实在课程中。当前,该专业缺乏能够提高学生综合能力的实践类课程,难以将本科阶段所学的理论知识进行网络化聚合,并为学生提供实践机会。这种情况可能会导致本科毕业生的专业知识不扎实,实践能力、沟通能力、合作能力欠缺,综合能力难以匹配深造或工作的要求。因此,需要强化专业实践体系建设,以满足新形势下生物医学工程专业的行业要求。课程是培养学生的核心载体,在人才培养中发挥重要作用<sup>[5]</sup>。在国家鼓励科研成果转换、创新创业的背景下,本科生的培养工作面临新的机遇与挑战,对实践课程的内容有了更高、更新的要求,既要与理论课程紧密相关,又要与前沿科技和产业对接。本文以智能医疗电子和器械方向为例,拟通过开设针对生物医学工程专业综合能力培养的实践类课程解决上述问题。课程拟命名为“智能康复工程”,2学分,对应64个学时。

本课程开设的宗旨为:第一,以学生为中心。坚持学生培养是高校工作的重中之重,坚持以提升学生综合能力为宗旨,充分听取学生关于课程内容、形式与考核方式的建议。第二,贯彻高质量发展理念。坚持课程内容的迭代更新,与时俱进。在课程内容中不断注入最新科研、技术内容。汇涓流而成江海,积跬步而至千里,不断沉淀新的专业知识点,形成课程内容,保证课程内容的先进性,持续激发学生的学习热情。

课程形式方面,本课程拟采用与传统授课模式不同的方式,拓展课堂时空,提供开放式时间与空间,建立良好的师生沟通平台与机制。校内成立专项俱乐部,欢迎跨专业、跨课堂的学生参与其中。校外构建校企深度合作,邀请企业专家进行讲座和指导,让学生了解产品研发模式。课程结束后,持续收获学习结果,并不止步于学分与成绩。本课程还鼓励感兴趣的学生以赛促学、学以致用,积极参与校内外多种形式的比赛,进一步夯实实践能力,激发创新意识,培养团队合作精神。

在课程内容方面,实验环节既要对应相关理论课程,又要贴近前沿科技与产业发展。为此,将实验分为4个环节:人体生物电信号的采集、数据处理、模式识别和机电控制。

环节1:人体生物电信号的采集。该环节旨在巩固学生的医学、传感器和电路相关知识。学生通过实验,可以提高实践能力与实验规划能力,了解生物电信号的概念,学习其采集方法,并且可以加深对人体生理结构的了解,进一步领会传感器、电路及材料在生物医学工程领域的应用。

环节2:数据处理。具体包括数据滤波、端点检测、特征提取、特征选择等步骤,旨在巩固学生的数学知识,提升学生的算法构建与编程能力。通过该环节,学生可以了解人体生物电信号的时域、频域、时频域特征。

环节3:模式识别。主要是利用分类器根据特征对不同动作模式进行分类与区分。该环节旨在促进学生在人工智能、深度学习、大数据等前沿领域的学习,理解不同分类算法的原理,并能编程实现算法,以解决模式识别问题。

环节4:机电控制。可利用识别模型控制机电设备。该环节不仅可促进学生在通信、嵌入式编程等方面的学习和理解,还能提升学生的学习成就感,激发学生的学习动力和学习兴趣。

以上4个实践环节与学生的理论课程交相呼应、相辅相成,不仅锻炼了学生的实践动手能力,还提升了学生对理论知识的认知及对前沿科技的了解度。

#### 4 结论

生物医学工程作为一门新兴交叉学科,发展迅猛,涉及的相关学科不断攀升到新的高度。生物医学工程专业具有知识涉及面宽、应用性强、更新速度快等特点,对人才培养模式不断提出更高的要求,其多学科融合的特质始终是评价专业教学质量的根本标志。课程是教学质量的基石,是本科生人才培养的土壤。如何通过课程设置,尤其是实践类课程设置,保障本科生人才培养质量,是本文关注的重点。本文通过国内外培养方案的对比,结合当前产业形势,总结了当前生物医学工程专业本科生培养过程中可能存在的问题,并提出了以建设实践类新课程为途径的解决方案,希望能够为生物医学工程专业本科生人才培养做出贡献。

## 参考文献

- [1] 官照军, 顾宁, 梅汉成. 中美生物医学工程专业本科教育的比较与启示[J]. *现代教育科学:高教研究*, 2011(5): 132-136.  
GONG Zhaojun, GU Ning, MEI Hancheng. Comparison and enlightenment of undergraduate education of biomedical engineering in China and the United States [J]. *Modern Educational Science: Higher Education Research*, 2011(5): 132-136.
- [2] 腾轶超, 杜亚楠, 梁作清, 等. 挑战性生物医学工程综合设计实验教学改革探索[J]. *实验技术与管理*, 2019(6): 237-241.  
TENG Yichao, DU Yanan, LIANG Zuoqing, *et al.* Challenging the reform of biomedical engineering integrated design experiment teaching [J]. *Experimental Technology and Management*, 2019(6): 237-241.
- [3] 陈昕, 刘麒龙, 董磊, 等. 面向行业需求的生物医学工程专业实验教学体系构建[J]. *实验技术与管理*, 2020, 37(8):12-16.  
CHEN Xin, LIU Qilong, DONG Lei, *et al.* Construction of experimental teaching system for biomedical engineering specialty oriented to industry demand [J]. *Experimental Technology and Management*, 2020, 37(8):12-16.
- [4] 郭万里, 许玲, 许丽芬, 等. 重点实验室在本科生创新能力培养体系中的作用[J]. *实验室研究与探索*, 2018, 37(10): 229-233.  
GUO Wanli, XU Ling, XU Lifen, *et al.* The role of key laboratories in the cultivation system of undergraduate innovation ability [J]. *Research & Exploration in Laboratory*, 2018, 37(10): 229-233.
- [5] 吴凡, 李曼丽. 跨学科本科课程整合方法与机制——以美国三所研究型大学生物医学工程专业为例[J]. *高等工程教育研究*, 2022(6): 158-164.  
WU Fan, LI Manli. Methods and mechanisms of interdisciplinary undergraduate curriculum integration: a case study of biomedical engineering majors in three research universities in the United States [J]. *Higher Engineering Education Research*, 2022(6): 158-164.
- [6] 郑路, 陈臣. 高校类型、创业环境与大学毕业生创业率[J]. *青年研究*, 2022(2): 2.  
ZHENG Lu, CHEN Chen. Types of universities, entrepreneurship environment and entrepreneurship rate of college graduates[J]. *Youth Research*, 2022(2): 2.