

## 从被动应用向主动设计的升华——生物医学工程(生物医学材料类)本科教育专业核心知识体系的变革与重塑

尹光福, 杨为中<sup>△</sup>, 林江莉, 苟立, 蒲曦鸣

四川大学生物医学工程学院(成都 610064)

**【摘要】** 生物医学工程(生物医学材料类)专业为多学科交叉融合的典型领域,其独特的医工交叉性、知识综合性和技术前沿性,使其专业教育同时肩负“新医科”和“新工科”(简称“双新”)的改革重任。本文结合世界生物医学材料发展的趋势与前沿,分析了新形势下生物医学工程(生物医学材料类)专业教育面临的机遇与挑战,从国家重大战略和产业发展对生物医学材料人才素质新要求的角度,对“双新”背景下生物医学工程(生物医学材料类)专业教育进行了深刻的反思,提出以生物医学材料与机体不同层次的相互作用及作用效应为主线重塑专业核心知识体系、设置以《材料生物学》为核心的生物医学材料学系列课程、建立“产学研用”多元融合的生物医学工程(生物医学材料类)专业高素质人才培养体系的改革模式,以期有助于解决怎样培养引领新一轮诊疗技术变革和医疗器械产业发展的创新人才与领军人才的重大命题。

**【关键词】** 生物医学工程专业教育 生物医学材料 专业核心知识体系 材料生物学

**From Passive Application to Active Design—Restructuring and Reshaping of Core Specialty Knowledge Systems of Biomedical Engineering (Biomedical Materials Track) Undergraduate Education** YIN Guang-fu, YANG Wei-zhong<sup>△</sup>, LIN Jiang-li, GOU Li, PU Xi-ming. College of Biomedical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China

<sup>△</sup> Corresponding author, E-mail: ywz@scu.edu.cn

**【Abstract】** Biomedical engineering (BME) (biomedical materials track) is a typical field of interdisciplinary integration. Its specialty education simultaneously undertakes the duo reformation responsibilities for the new engineering education and the new medical education due to its unique strengths in interdisciplinary nature, comprehensive scope of knowledge, and status of being on the cutting edge of technology. We made an analysis, in this paper, of the opportunities and challenges faced by BME (biomedical materials track) specialty education on the basis of the trends and frontiers of development in biomedical materials in the world. From the perspective of new requirements raised by major national strategies and industrial development for the qualifications and competence of professionals specializing in biomedical materials, thorough reflections were made on the specialized education of BME (biomedical materials track) under the background of the new engineering education and the new medical education. Furthermore, we proposed herein to reconstruct the specialized core knowledge system according to the main line of the reactions and the responses between the biomedical materials and human bodies at different levels and set up a series of courses of biomedical materials science centered on Materiobiology as the core. We also proposed to establish a diversified integrated reform model of the training system incorporating production, learning, research and application for highly competent BME (biomedical materials track) professionals. This paper attempts to contribute to the solution of the major issue of how to train the innovative talents and leaders who will pioneer a new round of diagnosis and treatment technology revolution and the development of the medical device industry.

**【Key words】** Biomedical engineering specialty education Biomedical materials Specialized core knowledge system Materiobiology

生物医学工程(biomedical engineering, BME)是以生命科学和临床医学领域中的问题为研究对象,运用现代自然科学和工程技术的原理与方法研究和解决生命系统中的问题,是现代生物医学与自然科学及工程技术交叉融合的“桥头堡”<sup>[1]</sup>。生物医学材料(biomedical materials)是生物医学工程的重要组成部分,是一类具有特殊性能和特种功能的材料,广泛应用于人类疾病的诊断与治疗、人体康复、各种人工器官与人工植入器械的构建等领域,

亦称生物材料,既指生物医学材料自身,也包括由生物医学材料构建的医用植入器械<sup>[2]</sup>。

在“健康中国2030”国家战略的大背景下,现代医疗体系和医疗器械产业蓬勃发展,对变革性诊疗技术和创新性医疗器械的需求日益增加,也对生物医学工程专业教育和人才素质有了全新的要求<sup>[3-4]</sup>。遵照“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”发展方针,为适应“新医科”和“新工科”背景下跨界人才的培养<sup>[5]</sup>,更好地服务于现代医学的发展,对生

<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: ywz@scu.edu.cn

物医学工程专业教育进行深刻的反思和系统的变革, 重塑生物医学工程专业知识结构体系, 建设一流的本科专业, 培养能够胜任新一轮科技革命和产业变革的高素质人才, 具有重要的现实意义和深远的历史意义。

## 1 BME教育发展的机遇与挑战

随着人类对生存质量和健康水平要求的不断提高, 对先进诊疗技术和医疗器械的需求持续增长。从技术要求看, 对心血管疾病、恶性肿瘤、传染性疾病等的安全、高效诊疗技术的要求不断提高; 从产业发展看, 我国医疗器械产业与市场规模从2016年的约3 700亿, 增加到2020年的约7 341亿, 2019–2023年年均复合增长率预测约为14.41%, 远高于全球5%~8%的平均增速, 也高于我国药品市场10%左右的增速<sup>[6]</sup>。因此, 现代医疗体系和健康产业蓬勃发展的需求一方面对生物医学工程人才数量需求不断增大, 另一方面对人才素质的要求不断提高。

目前我国已有170余所高等学校(主要为综合性大学和医科学院)开设了生物医学工程本科专业, 设立了35个国家一流本科专业建设点, 涵盖了生物电子类、生物材料类、生物信息类等不同类型的专业方向, 培养了一大批高素质的专业技术人才, 为我国医疗卫生事业和医疗器械产业的发展做出了巨大贡献。

新形势下, BME专业教育既迎来前所未有的发展机遇, 也面临全方位的严峻挑战。从机遇来讲, 一是“面向人民生命健康”国家战略<sup>[7]</sup>, 二是“百年未有之大变局”历史机遇<sup>[8]</sup>。在当今“新型冠状病毒肺炎(COVID-19)全球肆虐”的背景下, BME专业教育面临着一系列重大挑战, 如: 面临着社会发展的“需求冲击”、科学发展的“深化冲击”和学科交叉的“跨界冲击”。如何抓住机遇、迎接挑战, 优化和改进人才培养体系, 更加适应产业需求、对接产业发展, 满足行业对高素质专业人才的需求是国内外高校一直在探索的课题。本文拟重点围绕BME的专业方向之一——BME(生物医学材料类)专业本科教育提出思考与探索路径。

## 2 BME(生物医学材料类)本科教育反思

随着生物医学材料在现代医学中作用的日益彰显, 生物医学材料本科教育也呈现迅速发展的态势。国内高校针对生物医学材料类本科专业人才的培养已形成以生物医学材料为特色的BME本科专业、BME专业下设生物医学材料方向、以及BME专业设置生物医学材料课程组等不同模式的生物医学材料专业教育。以四川大学为例, 20世纪70年代成立了BME学科组, 是国内最早建立该

学科的高校之一, 1999年开始招收BME本科专业, 2019年BME本科专业入选首批国家一流本科专业建设点。经过多年的建设与改革, 在以四川大学BME专业为代表的生物医学材料专业人才的培养过程中, 已初具“引领性、交融性、创新性、跨界性”等“新工科”的基本特征, 课程体系包括:《材料科学基础》《材料物理化学》《材料制备原理》《材料分析测试及表征》《生理学》《解剖学》《生物化学》《细胞生物学》等课程, 关注材料组成结构与理化性能的关系、生物相容性及其生物学性能评价及生物医学材料可安全使用的水平。

但长期以来, 国内高校BME(生物医学材料类)的专业培养体系始终带有“材料科学类”专业知识为主导的深深烙印, 专业知识结构体系落后于学科与研究的发展与需求。专业知识框架沿袭材料类专业知识构架, 侧重于材料科学与工程基础, 点缀以生物学和医学知识、穿插以生物医学材料应用案例。从课程体系来看, 虽然包括《生理学》《解剖学》《生物化学》《细胞生物学》等生物医学类课程和《材料科学与工程基础》《材料物理化学》《材料加工成型》等材料科学类课程, 但缺乏以自然科学的视角认识生命现象和过程, 缺乏对生命体与外部环境的交互作用与效应的阐释, 缺乏医学需求驱动下的理论与技术创新的引领。所形成的人才培养体系仍未超越“工程应用学说”的眼界, 也未跳出生物医学“材料应用延伸”的桎梏。

“新工科”“新医科”绝不是几门交叉专业的课程的机械堆砌和简单叠加, 更不是简单的增设几门前沿课程。因此, 如何适应“健康中国2030”国家战略、“双新”背景下现代BME学科的快速发展和医疗器械产业的迫切需求, 变革、重塑BME(生物医学材料类)专业的知识结构体系, 对于生物医学材料类高素质人才的培养具有重要意义。

## 3 BME(生物医学材料类)知识体系重塑

上世纪60年代URIST发现脱细胞、脱钙骨基质在动物肌内能诱导新骨形成<sup>[9]</sup>, 上世纪90年代四川大学ZHANG等<sup>[10]</sup>发现一定组成和结构的生物材料可诱导骨的形成, 2017年LI等<sup>[11]</sup>提出“材料生物学”概念, 开辟了生物材料科学的新领域, 使生物医学材料研究关注的重点发生了根本性的转移: 生理环境中生物学效应的发生机制、特定生物学效应的增强或抑制手段、生物材料促进病变组织与器官的修复与再生等成为生物医学材料研究新的主题。因此, 生物材料与机体的作用、生物材料及机体的应答已成为生物材料实现预期目的、保证机体正常

生理活动的重要基础<sup>[12]</sup>。如何在新的本科教学体系中,以材料与机体的“反应与应答”(Reaction-Response)为主线构建专业核心知识体系,实现从“生物医用材料”向“生物医学材料”的跨越(from the materials in medicine to the biomedical materials),已成为BME(生物医学材料类)专业教育改革的发展趋势。

四川大学BME专业按照“新工科”和“新医科”对人才培养的目标和要求,在“厚通识、宽基础”的方针下优化专业知识结构,在奠定坚实的自然科学知识的基础上,在课程体系中变革性探索以材料与机体“反应与应答”为主线的专业教育理念,以《材料生物学》为核心,打造《生物医学材料学》系列课程,融贯材料结构基础、合成原理、材

料生物学效应、材料生物学评价、植入器械设计,形成“重心后移”(即:课程知识体系从关注材料本身后移至注重材料-组织的生物学效应)的生物医学材料科学与技术专业知识体系(图1)。系统掌握材料对细胞、组织/器官及整个生物体等不同层面的生物学功能的影响规律,探索生物医学材料与人体不同层次的相互作用及机体产生的应答,强调通过材料因素调控组织再生微环境,促进对缺损组织的再生修复效果,跨越“材料筛选及应用延伸”的必然王国、进入“调控材料生物学效应”的自由王国。

#### 4 BME (生物医学材料类) 核心课程建设

在BME(生物医学材料类)专业核心课程体系建设过

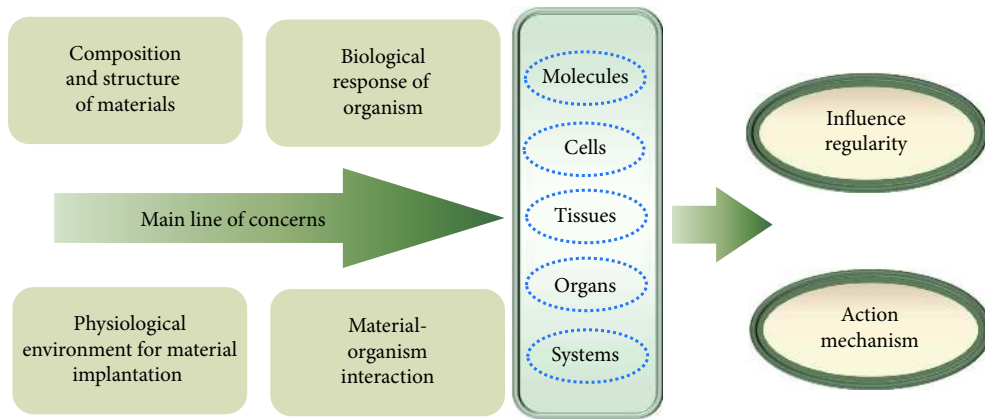


图 1 专业核心知识体系主线——“反应与应答”内涵示意图

Fig 1 Schematic diagram of the main line of the core knowledge system—Reaction and Response

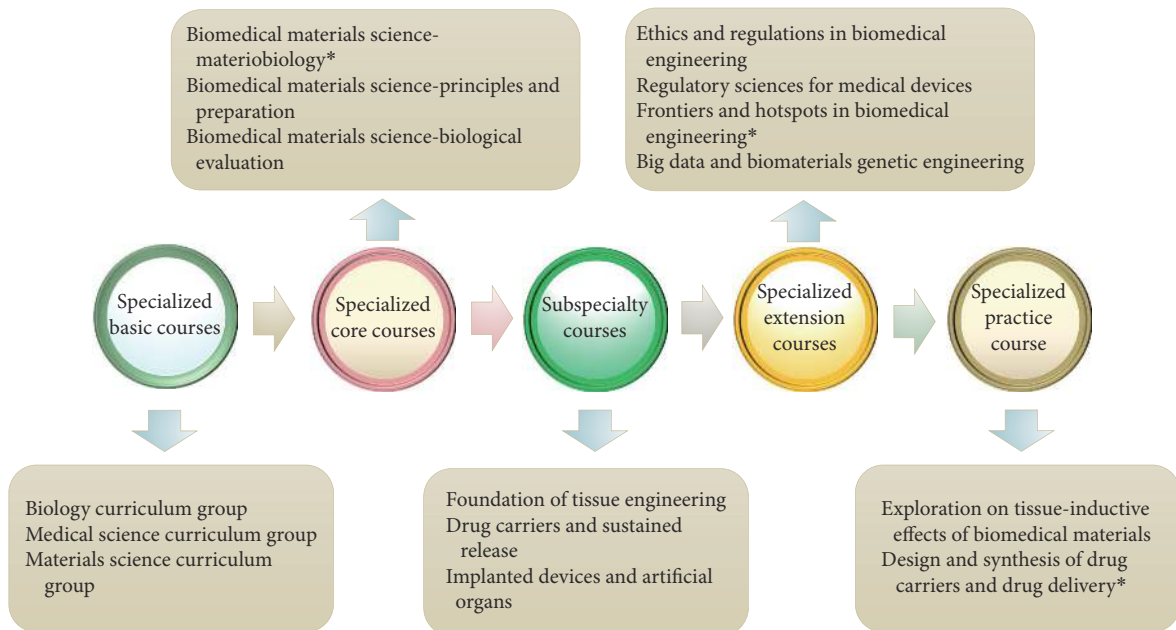


图 2 重塑后的四川大学BME (生物医学材料类) 知识体系

Fig 2 Reshaped BME (Biomedical Materials) knowledge system of Sichuan University

\* Featured curriculum of Sichuan University.

程中,把“材料与机体的相互作用及作用效应”贯穿落实到设计、制备、评价和临床应用中(图2)。打造“专业基础课—专业核心课—专业方向课—专业延伸课—双创实践课”为体系的本科专业教学课程体系,把知识结构体系从被动设计推向主动设计、主动干预人体机能的新高度。

#### 4.1 努力夯实生物学、医学、材料学基础

生物学基础包括:《生物化学》《细胞生物学》《分子生物学》等课程;医学基础包括:《生理学》《解剖学》《组织胚胎学》等课程;材料学基础包括:《材料科学基础》《材料物理化学》《材料测试方法》等课程。

#### 4.2 精心打造生物医学材料学系列课程

打造以《生物医学材料学—材料生物学》《生物医学材料学—原理与制备》《生物医学材料学—生物学评价》等为核心课程的一流课程群。以核心课程《材料生物学》为例,教材是以世界生物材料领域最新提出的“材料生物学”概念为核心构建的教材知识体系,教材从机体及材料两个不同角度及人体分子、细胞、组织、器官与系统等不同层次,阐述生物医学材料及医疗器械与活体的相互作用、生物效应及其发生规律。聚焦从材料组成与结构、到材料植入生理环境、到材料-机体相互作用、到机体生物学相应的全过程,目前国内外尚无同类教材。

#### 4.3 合理构建专业方向课程与专业延伸课程体系

在专业方向课设计上,建设具有医工融合特色、针对不同生物医学材料应用的专业方向课程组,如《组织工程基础》《药物载体与控制释放》《植入器械与人工器官》等。在专业延伸课设计上,建设具有前沿探索性课程群,如《大数据与生物材料基因工程概论》《生物医学工程伦理与政策法规》《医疗器械监管科学导论》《生物医学工程前沿与热点探讨》等。在双创实践课程设计上,以卓越学术和一流学科平台为依托,构建《材料对组织生长诱导效应探索》及《靶向药物/基因载体设计合成与药物递送》两大双创实践课程。

## 5 结语

在“新工科”和“新医科”的背景下,以国家“健康中国2030”战略、产业革新、行业变革和未来创新需求为指引,我们以跨学科交叉的知识体系和教学内容的深度“融合”,以临床问题和行业需求为导向,在“五维一体、五贯

并举”人才培养模式导向下,通过专业知识体系重塑、变革教育模式和教学内容,深化了“材料与生命的交互”课程知识结构,以材料与机体的相互作用及作用效应为主线,形成了“产学研用”多元融合的BME(生物医学材料类)专业特色的高素质人才培养体系,塑造了四川大学以生物医学材料及植入器械为显著优势特色的BME本科教育专业培养川大风格。

\* \* \*

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] 王佰亮,陈浩.扎根中国、融通中外,立足时代、面向未来——探索医学院生物医学工程人才培养思路.教育教学论坛,2021,16:129-132.
- [2] 尹光福,张胜民.生物医学材料学-材料生物学.北京:人民卫生出版社,2021.
- [3] 齐炜.新时代学科交叉背景下的生物医学工程专业培养体系建设.教育教学论坛,2020,20:239-240.
- [4] 杨丽凤,焦雄.生物医学工程专业毕业生社会需求调查分析.高教学刊,2020,6:189-190.
- [5] 李晓欧,张欣,严加勇,等.基于ABET认证的生物医学工程专业人才培养模式研究.中国高等医学教育,2019,12:23-24.
- [6] 搜狐网.2019年中国医疗器械行业分析:未来万亿市场规模,五大利好因素促进发展.(2019-02-11)[2021-06-15].[https://www.sohu.com/a/294058851\\_473133](https://www.sohu.com/a/294058851_473133).
- [7] 新华网.习近平主持召开科学家座谈会强调:面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,不断向科学技术广度和深度进军.(2020-09-11)[2021-06-15].[http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/11/c\\_1126484072.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/11/c_1126484072.htm).
- [8] 光明网.以坚强战略定力应对百年未有之大变局.(2021-02-18)[2021-06-15].[https://www.gmw.cn/xueshu/2021-02/18/content\\_34623597.htm](https://www.gmw.cn/xueshu/2021-02/18/content_34623597.htm).
- [9] URIST M R. Bone: Formation by autoinduction. *Science*, 1965, 150(3698): 893-899.
- [10] ZHANG X D, ZHOU P, ZHANG J G, et al. A study of hydroxyapatite ceramics and its osteogenesis// RAVAGLIOLI A, KRAJEWSKI A. Bioceramics and the Human Body. Dordrecht: Springer, 1992: 408-416.
- [11] LI Y, XIAO Y I, LIU C. The horizon of materiobiology: A perspective on material-guided cell behaviors and tissue engineering. *Chem Rev*, 2017, 117(5): 4376-4421.
- [12] 季振宇,周怡敏,杨滨,等.新工科和新医科背景下生物医学专业课程教学设计与实践.医学教育研究与实践,2020,28(3):374-376.

(2021-05-05收稿,2021-06-15修回)

编辑 姜 恬