

生物医学工程大学教育的五十年

汤姆森·韦普, 肖恩·赫尔曼, 罗佩拉·梅斯特, 理查德·迈克尔

Institute of Neurobiology Bio-Engineer, 359 N Bloomsburg, PA 58275, US

摘要: 生物医学工程 (BME) 与生物工程 (BioE) 的本科教育已经实施了 50 多年。它对于塑造整个领域扮演着极其重要的角色。早期的本科课程是在 BME 研究生课程开始之后不久发展起来的, BME 部门的实际优势包括以学生的兴趣与利益为前提, 可自由掌控与利用学校资源与课程。与其他工程领域不同, BME 最初并不依赖工业毕业生的市场, 尽管 BME 毕业生随后也不缺乏发展机会。BME 本科课程在 2000 年代因惠特克基金会的资助和其他机构 (如国家生物医学成像和生物工程研究所) 的资源资助而爆炸式增长。项目的数量似乎达到了一个稳定水平, 目前在美国有 118 个获得认可的项目。我们发现了一个不仅在生物学方面, 而且在工程的广度方面都不同于其他工程师的知识库, 是大多数本科生都应该知道的核心材料。我们还回顾了重要组织和会议如何在 BME 发展中起作用、以及一些 BME 的教育特点、BME 毕业生的首次安置, 及未来需要解决的一些挑战。

关键词: 生物工程课程; 生物工程教育; 生物工程史; 生物医学工程课程; 生物医学工程教育; 生物医学工程史; 课程

Fifty Years of Biomedical Engineering Undergraduate Education

Thomson Wepp, Shawn Hermann, Ropella Mestre, Richard Michael

Institute of Neurobiology Bio-Engineer, 359 N Bloomsburg, PA 58275, US

Abstract: Undergraduate education in biomedical engineering (BME) and bioengineering (BioE) has been in place for more than 50 years. It has been important in shaping the field as a whole. The early undergraduate programs developed shortly after BME graduate programs, as universities sought to capitalize on the interest of students and the practical advantages of having BME departments that could control their own resources and curriculum. Unlike other engineering fields, BME did not rely initially on a market for graduates in industry, although BME graduates subsequently have found many opportunities. BME undergraduate programs exploded in the 2000s with funding from the Whitaker Foundation and resources from other agencies such as the National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. The number of programs appears to be reaching a plateau, with 118 accredited programs in the United States at present. We show that there is a core of material that most undergraduates are expected to know, which is different from the knowledge base of other engineers not only in terms of biology, but in the breadth of engineering. We also review the role of important organizations and conferences in the growth of BME, special features of BME education, first placements of BME graduates, and a few challenges to address in the future.

Keywords: Bioengineering curriculum; Bioengineering education; Bioengineering history; Biomedical engineering curriculum; Biomedical engineering education; Biomedical engineering history; Curriculum

引言:

对称为生物医学工程师或生物工程师的独特群体的教育对该领域的定义和发展与任何 BME 研究或医学创新一样重要。在这里, 我们将讨论本科 BME 教育发展的一些里程碑、塑造它并继续塑造它的力量、BME 核心课程

和 BME 教育的标志, 以及未来 50 年仍然存在的一些问题。我们试图广泛涵盖 BME 本科教育的主线, 并参考重点。然而, 这篇论文受到我们自己观点的影响, 并且偶尔会出现一些观点。在整篇论文中, 我们使用生物医学工程 (BME) 和生物工程 (BioE) 这两个术语, 没

有区别。这两个名称从一开始就被用于关注人类医学的项目，BME 和 BioE 项目之间几乎没有或没有实际差异。

跨学科BME教育

课程目标

该课程有两个主要目标，由几个组件实施。首先是让 BE 本科生接触到一系列临床领域，这些领域要么雇用生物工程师，要么 BE 技术和方法对于有效实施临床程序或临床研究至关重要。这是通过选定的临床教师提供的 18 小时互动讲座（在 12 个临床领域）完成的。第二个主要目标是通过沉浸在单一临床专业中获取知识。这是通过在医学院/大学医院的临床部门进行为期 10 周的指导（或最近在牙科和兽医学校增加的机会）来实现的。最后四节课和前两周的辅导重叠。成对的学生被分配到临床部门、部门或中心导师（或指定的代理人），以深入接触单一专业的临床环境。本课程在大三春季学期开设。

因此，BE400 向完成了严格的 2.5 年 BE 课程但实际临床知识或经验有限的高年级学生介绍了临床医学的广泛和选择性方面。人体生理学课程在同一学年的早些时候教授，辅导与所需的四门课程实验室序列的最后一个学期同时进行，涉及涉及 BE 科学、问题解决和设计各个方面的实验和项目。5 LAB 本课程强调实验工作，将二年级和三年级的主题（生物力学、生物材料、生物物理化学、生物运输、生物信号）与生理学和细胞生长实验相结合。

BE400 旨在向学生展示工程知识、研究和设计在促进临床实践、研究和设备开发成功方面的重要性。学生将学习如何在生物医学研究中使用设计驱动的工程技能来补充临床环境中的假设驱动研究。在进入本科学习的最后一年之前，学生将熟悉临床医学和工程在医院环境中的作用。指导经验偶尔会导致为高级设计项目选择临床问题，临床医生担任该项目的主要导师或共同顾问。这源于有机会在担任导师的同时参与正在进行的临床相关研究项目。

学生经验

我们发现学期开始时的一个基本要素是对课程内容的全面介绍，包括对课程设计基本原理的讨论。课程主管的可访问性，尤其是在最初的几周内，是至关重要的。学生自然会担心学习环境的重大变化和不熟悉材料，但对挑战感到兴奋。重要的是要解释他们已经知道的内容与他们将要学习的内容的相关性。介绍性信息包括 (i) 每个讲座主题和演讲者背景的简要概述，(ii) 工

程相关临床主题的具体示例，以及 (iii) 对两名前一年学生的经历的讨论。最后一项已被证明特别有用。

大约 25% 的 2005 届学生计划上医学院。当该计划扩大到招收整个初级班时，预计大约 40% 的学生将是预科生。我们注意到前 2 年的预备分数较高时略有不同；一些医学预科生有以前的医院经验，可以作为同学的非正式导师。然而，到学期结束时，学生们的态度和对临床问题的熟悉程度似乎保持一致。

根据考试成绩、个别导师和导师的具体评价、讲座和研讨会的评分报告等客观标准判断，绝大多数学生对讲座材料的理解广度和深度都令人满意，并且具有可比的水平 导师专业知识深度。关于学生职业选择以及课程是否影响他们最终职业道路的定量信息是有限的。那是因为只开过五次，而且随着学生人数的逐渐增加，大部分参加这门课的人都是近两年才报读的，还在读初中和高中。因此，从他们那里收集有意义的数据还为时过早。然而，我们联系了 38 名早年参加过该课程的学生，并收到了 29 名学生的回复。9 人进入医学院（2 人攻读 MD-PhD 项目），10 人进入研究生院，10 人进入私营部门担任各种职务。

教师经验

教师的经验补充了学生的经验。一位医学院教员指导精通工程和定量科学的聪明本科生是新奇和不寻常的。所有参加该课程的临床教师都报告了在讲授和主持导师职位方面的积极经验；在大多数情况下他们非常热情，通过让学生对临床或研究问题提出不同观点而获得的教师。这些学生是在大四及以后接受进一步医学相关培训的候选人。

制度和运营考量

根据我们迄今为止的经验，在设计和运营跨学科和校际教育项目时有许多重要的考虑因素。其中，我们认为最重要的是结构、财务和个人。结构性考虑与如何建立一个机构来促进和运营跨学科教育计划有关。在宾夕法尼亚大学，学校之间的官方桥梁 IME 促进了这一点。代表医学和工程学院的联合主任的领导是必不可少的；联合主任也是 IME 成员，从定义上讲，这反映了跨学科的兴趣。由于大部分教学是由医学院教员进行的，因此项目负责人必须赢得临床教员的尊重，同时保持工程教育的原则和目标。同样，BE 部门的教育重点必须由高级教育专家代表。大多数大学都有适当的教师来完成这项任务。

必须解决财务方面的问题，尤其是当它涉及来自两

所不同学校的人时。在课程的前两个“试点年”中，临床医生无偿贡献了他们的时间和精力。随着学生人数的增加，工程学院与 IME 协商将资金转移到医学院，以弥补失去的临床实践时间。一小笔津贴被转移到教员参与指导活动的系主任；金额与所涉及的教师人数成正比。我们要求主席将其用作分配给每位临床导师的酌情基金。这种机制吸引了主席的合作，并为导师继续参与课程提供了重要的激励，这与临床教师时间的许多其他需求竞争。这些是需要预先协商的敏感问题，可能存在于任何考虑类似项目的机构中。我们建议在课程开发早期寻求额外的外部资金来源（例如，来自基金会或联邦资助机构）。这将增加节目的声望。就我们而言，我们很幸运，该计划在向惠特克基金会提交生物工程系领导发展奖申请的同时开始运作。课程概念是申请的一部分，得到基金会的认可，并包含在最终奖项中。生物工程系在课程结束时将商定的金额转移到 IME；然后将津贴分配给医学院的各个部门。在没有外部支持的情况下，必须就学费收入的使用做出决定。少数积极主动的临床医生促进了我们在小型选修课方面的早期公益经验。然而，随着现在入学人数的增加，我们认为通过某种类型的经济激励可以更好地服务于该计划。

个人考虑非常重要。医学和工程学等两种截然不同的教育和研究文化之间的合作需要相互尊重。课程领导者和临床教师之间的个人联系需要在初始阶段建立和维持。BME 的学生很快就融入了医学院的环境，并且一直受到良好的对待直到今天。课程的最后 3 年产生了非常积极的整体学生评价，得分为 3.6、3.5 和 3.6，满分 4.0。与学生的非正式访谈每年都会为逐步改进提供有价值的建议。

BME 教育的多样性与包容性

众所周知，生物医学工程比几乎任何其他工程领域都具有更多的性别平等。3 2017 年的数据证实，在授予女性学士学位的比例最高（44% 对 50%；工程学平均为 21.3%）和授予女性博士学位（39.1% 对 48.7%；工程平均 23.3%），以及在美国拥有终身教职或终身教职的女性教师（22.7% 对 26.9%；工程平均 16.9%）然而，在种族和民族等其他多样性轴上，生物医学工程师是一个高度同质化的群体。授予黑人或非裔美国人、西班牙裔和美洲印第安人或夏威夷/太平洋岛民的学士学位比例分别为 3.8%、8.8% 和 0.3%，低于工程平均水平分别为 4.1%、11.2% 和 3.8%。15 同样，生物医学工程中黑人或非裔美国人和西班牙裔教师的百分比显着低于工程平均水

平——2017.17 年分别为 1.8%、2.3%、3.0% 和 3.9%。生物医学工程高于工程平均水平（21.6% vs. 14.6%），教师比例相似（生物医学工程为 25.7%，工程为 27.9%）。了解为什么生物医学工程对女性和亚裔美国人特别有吸引力和/或热情好客，但对黑人和西班牙裔多元化 PR 却没有，这是一门至关重要的课程。

作为个人，许多希望增加学科多样性的教师和行业领导者不确定该做什么以及如何去做。作为一个白人，顺性别，异性恋（即异性恋）女性，这对我来说通常是正确的，对于白人男性来说可能更是如此。因此，通过从关于多样性、冲突解决和转型变革的文献中策划的策略，我在这里为生物医学工程的领导者，尤其是大多数人（即白人男性和越来越多的白人女性）提供“如何做”，思考和工作 走向生物医学工程的多样性和包容性。

了解多样性与跨界工作

正如“白人”是一个包罗万象的类别，包括不同背景、经历、年龄、阶级、身心能力和其他方面的人，非白人个体可能比白人个体有更少的共同点。非白人最大的共同点可能是他们在白人社会中的待遇。也就是说，一个富有的有色人种在服装店被跟踪，被要求离开公共游泳池，或者在进入他的公寓楼时受到与工人阶级有色人种一样多的挑战。有色人种首先由肤色来判断，其次是其他特征。相比之下，白色的肤色被忽视和忽视，因为它被认为是常态。接受多样性的复杂性意味着理解你和其他任何人都不是仅仅或主要是由他们的肤色或其他特征来定义的。我们每个人都是团体和个人的一员；我们之所以成为我们，是因为我们的家庭背景、才能、世界经验、年龄、阶级和许多其他因素。

了解自身的社会与学术界的特权

我们的家庭背景可能会或可能不会在生命早期提供教育和经济优势。随着时间的推移，不劳而获的优势会累积成特权。特权被定义为：“授予某些人但未授予其他人的权利或利益；做一些让你感到自豪的事情的特殊机会；有钱有势的人在社会上相对于其他人的优势。”考虑特权的一种有用方法是根据您不考虑或不期望做的事情。

承认自己的特权并允许他人从怀疑中受益可以减轻他人缺乏特权的情况。例如，如果白人男性教员在该系中一直拥有最高的教学评级，那么问问自己种族和性别是否可能发挥作用（文献表明确实如此）。或者，如果您发现自己想知道聘请到您的团队的有色人种是否受到特殊考虑，请问自己为什么？然后，让他们怀疑他们是靠

功绩赢得这个职位的，就像你一样。

利用特权倡导变革

正如诺贝尔奖获得者埃利·威塞尔 (Elie Wiesel) 雄辩地指出的那样：“有时我们可能无力制止不公正，但绝不能有无法抗议的时候。”或者，正如马丁路德雄辩所说“我们对重要的事情保持沉默的那一天，我们的生命开始结束。”

从历史上看，白人女性和有色人种一直是平等和公平最积极的活动家，并且还负责教育白人了解多样性。我们自己的研究喜欢未知事物并通过独立调查寻求答案，与我们自己的研究不同，我们在思考多样性和包容性时会寻找无代表群体的成员，包括白人女性和有色人种女性，以教导我们。这种“教学”动态给白人女性和有色人种女性带来了负担，她们已经在教学评估、拨款资助和发展有效合作方面缴纳了“地位税”。虽然代表性不足和弱势群体的成员是遭受歧视的人，但每个人都有责任承认不平等，大声疾呼并制定解决方案。掌权者——院长、院长和行业领袖——有更大的责任利用他们的特权来倡导公平和平等、多样性和包容性。

也就是说，我们必须小心不要谈论历史上代表性不足和弱势群体的成员——假设他们了解他们的经历或将他们的工作归功于自己。通过询问白人女性和有色人种女性的经历，然后进行对话，而不是询问她们应该做什么，您可以开始建立有效的伙伴关系。当你成功做出改变时，无论多么微小，一定要承认他们的贡献！

结论

回顾过去 50 年来生物医学工程教育领域是如何成长和成熟的，令人鼓舞。众多爱好者为此做出了贡献，教育创新仍在继续。生物医学工程师正在取得成功并进入行业的高层，这可能会刺激积极的反馈循环，从而为 BME 毕业生带来更多工作。BME 本科教育始于美国，也开始在世界范围内传播。来自黎巴嫩贝鲁特的 Ziad Abu-Faraj 教授统计了全球生物医学工程教育项目的数量，不分本科和研究生项目。他发现，在总共 704 个项目中，亚洲的数量 (275 个) 超过了北美的数量 (225 个)。欧

洲有 152 个，南美有 29 个，非洲有 13 个。这些数字代表了增长，但仍然只是可以拥有 BME 的大学数量的一小部分。未来 50 年，随着全球医疗保健基础设施的改善以及其他地区越来越多的公司认识到 BME 毕业生对人类健康和福祉的贡献，国际项目的数量可能会增加。

参考文献：

- [1]The Penn Compact: From Excellence to Eminence. Philadelphia Business J. Nov 12, 2004, p. 1.
- [2]Guilbeau, E. J. Undergraduate bioengineering/ biomedical engineering curricula: current status and issues for the 21st century. Abstract. Ann. Biomed. Eng. 19:547, 1991.
- [3]National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. Design by Biomedical Undergraduate Teams (DEBUT) Challenge, 2019. <https://www.nibib.nih.gov/training-careers/undergraduate-graduate/design-biomedical-undergraduate-teams-debut-challenge>.
- [4]University of Pennsylvania Bioengineering Department website: <http://www.seas.upenn.edu/be>
- [5]Sax, L. J., K. Lim, K. Lehman, and L. Monje-Paulson. Reversal of the gender gap: the biological sciences as a unique case within science, technology, engineering, and mathematics (STEM). J. Women Minor. Sci. Eng. 24:291 - 324, 2018.
- [6]Whitaker Foundation. About the Whitaker Foundation. In: Program for the Biomedical Engineering Educational Summit. Landsdowne, VA, 2000. Unpublished.
- [7]University of Pennsylvania. Institute for Medicine & Engineering (IME) website: <http://www.med.upenn.edu/ime>
- [8]Hirshfield, L. E., and T. D. Joseph. We need a woman, we need a black woman: gender, race, and identity taxation in the academy. Gend. Educ. 24(2):213 - 227, 2012.
- [9]Joseph, T. D., and L. E. Hirshfield. Why don't you get somebody new to do it?' Race and cultural taxation in the academy. Ethn. Racial Stud. 34(1):121 - 141, 2011.
- [10]Dweck, C. Mindset : The New Psychology of Success. New York: Random House, 2016.