·教学改革·

生物医学工程专业《脑功能成像》课程建设的思考

张静娜　张晔　粘永健　乔梁　王莉　桑林琼　王倩楠　李鹏岳　邱明国
陆军军医大学生物医学工程与影像医学系医学图像学教研室，重庆　400038
通信作者：邱明国，Email：qiumg_2002@sina.com

【摘要】 本文在总结、反思现有课程建设内容基础上，对《脑功能成像》课程进行了重新设计，形成了新的课程建设方案。其包括以“内培”+“外引”方式，提升教学团队专业师资能力；以课程网站等线上教学资源结合线下授课（如文献导读、课堂研讨、综合实验设计等），构建线上线下相融合的教学模式；以教研室科研实验平台为依托，设计以科研课题为驱动的脑电、近红外相关的综合性实验。这一建设方案对于提高课程授课质量，激发研究生的学习兴趣，培养研究生脑成像技术的综合应用和创新实践能力具有重要意义，也为今后该课程的进一步建设和教学改革提供了一定的参考和借鉴。

【关键词】 研究生；　脑功能成像；　课程建设
【中图分类号】 R-05
基金项目：国家自然科学基金青年项目（81601970）；陆军军医大学教育改革研究课题（2019A05，2018B11）；陆军军医大学研究生教育教学改革研究项目
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20210502-01313

Thoughts on the course construction of *Brain Functional Imaging* for postgraduates majoring in biomedical engineering

Zhang Jingna, Zhang Ye, Nian Yongjian, Qiao Liang, Wang Li, Sang Linqiong, Wang Qiannan, Li Pengyue, Qiu Mingguo
Teaching and Research Section of Medical Imaging, College of Biomedical Engineering and Imaging, Army Medical University, Chongqing 400038, China
Corresponding author: Qiu Mingguo, Email: qiumg_2002@sina.com

【Abstract】 Based on the summary and reflection of the existing course construction content, this paper redesigns the course teaching to *Brain Functional Imaging* and forms a new curriculum construction scheme, including improving the professional teachers' ability of the teaching team by means of "internal training" + "external introduction", building an online and offline integrated teaching mode by combining online teaching resources such as course website with offline teaching (such as literature guidance, classroom discussion, comprehensive experimental design, etc.), and designing comprehensive experiments related to Electroencephalography (EEG) and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), which is driven by scientific research projects, based on the scientific research experimental platform of the teaching and research department. This construction scheme is of great significance for improving the teaching quality of the course, stimulating the learning interest of graduate students, and cultivating the comprehensive application and practical innovation ability of graduate students' brain imaging technology. And it also provides the reference for the further construction of the course and teaching reform in the future.

【Key words】 Postgraduate;　Brain functional imaging;　Course construction
Fund program: The National Natural Science Foundation of China Youth Project (81601970); Research Project on Educational Reform of Army Medical University (2019A05, 2018B11); Research Project on Graduate Education and Teaching Reform of Army Medical University
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20210502-01313

近年来，脑功能成像技术的快速发展为大脑的研究提供了新的技术手段，其可以帮助脑科学研究者从新的视角理解大脑功能和脑疾病[1-3]。利用脑成像技术研究人类大脑功能，是一个跨越了生物医学工程、计算机、临床医学及物理等多学科的高度交叉的前沿方向。为适应生物医学工程专业的培养需求，陆军军医大学以脑功能成像技术及应用为主要内容，开设了《脑功能成像》课程。这门课程是生物医学工程专业研究生的一门重要专业课，同时也是面向医学影像技术、认知神经科学研究等方向研究生的选修课程。目前，《脑功能成像》课程体系还不完善，如何在学习常见脑成像技术的同时，使研究生掌握脑成像数据处理方法，提高其利用脑成像技术进行脑科学领域研究的能力，是该门课程建设、改革的重要内容。

1 《脑功能成像》课程建设的现状分析

1.1 《脑功能成像》课程教学内容选择

脑功能成像技术是一大类无创的神经功能活动测量成像技术，迄今进入实用阶段的多达十几种，包括了功能磁共振成像（functional magnetic resonance imaging，fMRI）、弥散张量成像（diffusion tensor imaging，DTI）、功能近红外光谱技术（functional near-infrared spectroscopy，fNIRS）、正电子发射断层扫描技术（positron emission tomography，PET）、磁共振波谱成像技术（magnetic resonance spectroscopy，MRS）、脑电图（electroencephalogram，EEG）等。而本校《脑功能成像》课程，以磁共振成像技术及其应用为主，进行教学内容建设。选择这一成像技术作为代表性内容进行授课的原因主要有两个。首先，相比于其他成像手段，fMRI 和 DTI 等磁共振成像技术，具有较高的时间和空间分辨率，能够在一定程度上满足认知神经科学和临床疾病研究的需要[4-5]，更有利于授课研究生与自身科研工作进行结合和应用。其次，教学团队的教师都是一线科研人员，在 fMRI 和 DTI 数据分析算法和临床应用研究中积累了丰富的经验，并且有大量科研产出。目前教学内容安排，更有利于教师将自身的科研优势转化为教学优势，实现科研对教学实践的引领。

1.2 《脑功能成像》课程的教学模式

教学内容组织是以特定的磁共振成像技术为线索，形成不同的专题，每个专题实行“理论+实验”相结合的教学方法。理论知识的讲解主要采用课堂讲授、课堂研讨和文献导读等多种形式，而实验主要是通过计算机软件操作和 Matlab 编程来完成。整个课程教学学时数为 40 学时，共分为 4 个专题。第一个专题为总论，主要是带领研究生认识常见的脑功能成像技术，探讨不同成像技术在脑功能研究中的应用。第二专题为任务态-fMRI 技术，这一专题从磁共振的发展史入手，进一步讲解磁共振成像原理、fMRI 原理、fMRI 实验设计、fMRI 数据采集；并通过文献导读的形式介绍不同类型（组块设计、事件相关设计）实验任务下 fMRI 数据的分析方法及研究思路，通过研讨课形式探讨任务态 fMRI 在认知神经科学及临床研究中的应用；最后进行上机实践操作（SPM 软件包），观察任务状态下 fMRI 数据统计分析后的大脑激活模式。第三专题为静息态-fMRI 技术，这一专题从“负激活”入手讲解静息态 fMRI 的含义；其次进一步从大脑功能分离（局部特征，如 ALFF）和功能整合（功能连接）两个不同研究角度出发，讲解静息态 fMRI 常用的数据分析方法及临床应用；最后进行上机实践操作，通过 DPABI 软件包进行静息态 fMRI 数据预处理及局部特征计算，通过 gift 软件包进行功能网络分析。第四专题为 DTI 技术，这一专题从水分子的布朗运动入手，介绍如何在原来的磁共振序列上，通过配置梯度磁场来记录水分子运动，从而刻画大脑的白质微观结构；进一步从 DTI 研究前沿进展的角度，介绍了白质纤维束追踪技术及白质结构网络构建；最后进行 DTI 数据处理的实践操作，计算弥散参数指标，构建白质结构网络。

2 《脑功能成像》课程建设成效及存在的问题

目前《脑功能成像》已完成了初步建设，并分别在 2016、2017、2018 和 2019 级生物医学工程专业硕士和博士研究生中完成了课程的教学实践。在授课过程中，研究者发现这种以特定影像专题为内容的理论+实验的教学模式，可以让研究生在理解和掌握脑功能成像原理的基础上，完成影像数据的处理和结果分析，提高其理论和实践结合能力，具有较好的教学效果。同时，本课程所选的授课内容（即磁共振成像技术），由于其自身优势，很容易激发学生对其研究和应用的兴趣。课程报告显示，90% 以上研究生都能够找到该技术在自己研究上的

切入点。跟踪调查发现，最终约有40%的研究生，能够从脑功能成像技术入手进行硕、博研究课题的选题和研究，实现了本课程学以致用的目的。

当然，在课程建设和实施过程中研究者也发现了一些问题。首先是授课教师，目前承担这门课程的是生物医学工程与影像医学系医学图像学教研室的教师。他们都具有较好的工科背景、计算机编程能力和临床科研项目经验，但是在培养研究生医工结合的思维模式，提高研究生理论知识的综合应用能力等方面还存在欠缺，其授课能力有待进一步提升。其次是理论课，功能磁共振成像涵盖知识面较广，仅靠课堂时间很难满足学生理论知识的学习需求，需要进一步丰富教学形式、拓宽学习渠道。最后，由于磁共振数据采集需要一定的硬件条件和较长的实验时间，因此目前实验着重于进行现有磁共振数据的分析处理。对于大部分缺乏脑科学研究背景的研究生而言，仅通过现有的磁共振数据进行数据分析，是无法弥补其对数据认识和理解的欠缺的，这造成了其数据处理流程机械不灵活。因此，在整个的课程设计中，学生对于脑功能成像实验设计及数据采集部分的锻炼不够，设计综合实验的能力相应比较欠缺。

3 《脑功能成像》研究生课程优化思路及实施进展

3.1 以“内培外引”方式，提升教学团队专业师资能力

《脑功能成像》是一门兼具理论性和实践性的课程，具有多学科交叉、综合性强等特点。该课程对研究生要求较高，不仅要求他们从理论上掌握各种脑成像技术的成像原理及数据分析方法，而且要求他们能在计算机上实现各种脑影像的处理方法。尽管按照生物医学工程专业研究生课程体系，本校生物医学工程专业的研究生，已经完成了生物医学信号处理，医学图像处理等专业课程，具有一定的医学信号和医学图像处理的理论知识和Matlab实践操作基础；但是面对更为复杂的脑功能影像，整个数据分析流程和处理步骤更加灵活和复杂，这就对研究生的编程能力和影像技术的实际应用能力提出了更高的要求。为此，课程教学小组采取“内培”结合“外引”的形式，来加快提升教学团队专业师资能力，以此适应研究生培养的更高需求。首先是“内培”，对现有授课教师开展脑的神经生物学基础、临床脑疾病、脑发育与心理认知发展、各种新的脑功能成像技术及应用、脑成像数据分析方法及人工智能等多个方面知识进行培训，丰富授课教师的知识体系，提高授课教师综合素质和授课能力，发挥好其在理论授课和实践指导过程中的作用。同步结合“外引”，用请进来的形式，邀请临床和脑科学研究领域的专家进行学术讲座，与研究生深入探讨其学科前沿和临床应用。通过“内培外引”方式，目前已建成由1名教授、2名副教授、1名实验师及多名外请专家构成的课程教学团队，专业师资能力得到明显提升，课堂授课形式和授课内容得到了丰富，为更好地培养研究生综合素质奠定了基础。

3.2 借助课程网站，创建线上线下融合教学新模式

目前，国内外很多高校大力发展在线开放课程、线上线下混合式教学，从而提高了教学质量和学生的学习效果[6-8]。对于《脑功能成像》课程，也可以借助线上教学平台和教学资源，丰富教学形式，创建线上线下相融合的教学新模式。

对于研究生自学的线上教学平台，研究者从建设课程网站入手，目前在建的《脑功能成像》课程网站囊括了本课程可能涉及的所有知识。网站主要包括几个重要的功能模板：课程介绍模块、PPT课件资源模块、交互式移动学习库、配套资源库。课程介绍模块，介绍课程教学团队，课程背景、目标和设计原则。PPT课件资源模块，包括理论教学课件、实验教学课件；同时为了提高课件资源的可学习性，为每页PPT搭配语音讲解，使研究生可重复学习。交互式移动学习库，以重点、难点知识为单位，录制微视频或者动画，形成可进行课前预习、课堂互动、课后复习的，具有交互性与趣味性的课程资源包，使其在解决授课难点的同时提高研究生自学兴趣。配套资源库，包括了作业库、习题库、文献库、网站链接板块等。这部分内容可实现课下自我训练及脑科学研究背景和研究前沿知识的补充。

通过线上教学资源，授课教师合理引导研究生通过网络进行自学，从而可以缩减现有课堂教学（如磁共振成像的原理、数据分析方法原理等理论知识）的授课时间，仅对重、难点知识采用线上教学资源和现场讲授相结合方式进行着重讲解，从而为文献导读、课堂研讨、综合实验设计与数据分析、学术报告等教学环节争取到更多的时间。通过课堂研讨和学术报告形式，对脑功能影像数据分析、脑

成像技术的医工结合应用等课程难点问题，进行多层次的交流讨论，使研究生逐步形成脑科学研究问题的解决思路。线上线下融合教学有利于培养研究生的自学能力、独立思考和解决问题能力及工程实践能力。这一新的教学模式更符合生物医学工程专业研究生的培养目标，满足临床和市场对该类专业人才的需求[9]。

3.3 依托科研平台，丰富实验教学内容

对于实验教学来说，除了目前这种单模态的以fMRI和DTI数据处理软件为基础的数据分析和实践操作外，增加了以调用软件函数编程来实现数据批处理分析及多模态数据联合分析的综合性实验，从而增强研究生实际编程及程序语言工程实现的能力。同时，为了增加脑成像数据采集的实际可操作性，补充fNIRS数据采集及数据分析的内容。借助教研室现有的功能近红外设备，以教研室军事、认知和临床应用fNIRS科研课题为依据，通过课题驱动实验教学，设计具有实际意义的综合性实验课题。要求研究生以小组为单位在实验教学的基础上完成一个自选的课题设计，明确实验目的，自己动手设计实验，完成实验数据采集和实验数据的特点分析，自主设计脑成像数据处理方案。目前，已完成的综合性课题设计有“疲劳驾驶状态的脑电信号特征识别和检测”“运动想象期间fMRI信号、fNIRS信号和脑电信号特征识别和分类”“工作记忆任务的编码期、维持期及检索期的fNIRS特征分析”和“不同脑力负荷下前额叶fNIRS信号特征分析”等。科研项目驱动式实验教学可以使研究生进一步巩固基本概念、理论、分析方法和实现方法，有效地将理论和实际课题需求紧密结合，灵活运用脑成像技术的知识进行脑科学研究，并在应用中不断检验和完善，从而有效提高研究生创新实践能力[10]。

4　结语

脑科学研究是全球关注的热点问题，脑功能成像技术为脑科学的研究提供了工具，而《脑功能成像》课程正是以培养生物医学工程专业研究生利用脑功能成像技术进行脑科学领域研究的能力为目标的专业课程，对于未来脑科学研究的人才输出具有重要意义。为此，研究者在现有《脑功能成像》课程教学基础上，通过提升专业师资能力、改进教学模式、优化教学内容，对该课程进行进一步建设和改革。构建在线课程网站，完善教学资源，满足研究生对该课程的自主学习需求；通过在线课程网站，丰富教学形式，优化课堂教学环节；通过以科研课题为驱动的具有实际意义的综合性实验课题设计，激发研究生的学习兴趣，培养研究生脑成像技术的综合应用能力和科研创新精神。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　张静娜、张晔、乔梁：提出论文构思、撰写论文；粘永健、邱明国：总体把关、审定论文；王莉、桑林琼、王倩楠、李鹏岳：查阅文献、修改论文

参考文献

[1] 于春水. 磁共振脑功能成像的现状与挑战[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(8): 533, 542. DOI: 10.12117/jccmi.2018.08.001.

[2] Belyaev AS, Peck KK, Brennan NM, et al. Clinical applications of functional MR imaging [J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2013, 21(2): 269-278. DOI: 10.1016/j.mric.2012.12.001.

[3] 秦妍滨, 陈琨, 蒋满, 等. 多种脑功能成像技术的临床应用[J]. 中国临床康复, 2006, 10(18): 132-134. DOI: 10.3321/j.issn:1673-8225.2006.18.051.

[4] Roalf DR, Gur RC. Functional brain imaging in neuropsychology over the past 25 years [J]. Neuropsychology, 2017, 31(8): 954-971. DOI: 10.1037/neu0000426.

[5] 龚启勇, 吕粟. 功能磁共振成像临床应用及进展[J]. 磁共振成像, 2014, 5(Z1): 68-72. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8034.2014.05.S1.014.

[6] 许红玉, 聂生东, 刘颖.《医学图像处理》课程网站建设[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(2): 4076-4079. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2013.02.027.

[7] 薛庆节, 闫迎春, 李秀真, 等. 混合式教学在医学微生物学教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志, 2017, 16(6): 568-571. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2017.06.007.

[8] 武颂文, 石明娟, 雷静, 等. 全科医学研究生医学统计学混合式教学探索[J]. 中华医学教育探索杂志, 2019, 18(6): 568-571. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2019.06.007.

[9] 白晋, 杜永洪, 王翠萍, 等. 以社会需求为导向的生物医学工程专业教学改革[J]. 中华医学教育探索杂志, 2017, 16(5): 445-448. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1485.2017.05.003.

[10] 黄勤超, 罗晓琳, 刘晓, 等. 聚焦军事应用的微课题任务驱动式教学实践[J]. 教育现代化, 2019, 6(7): 168-170. DOI: 10.16541/j.cnki.2095-8420.2019.07.055.

（收稿日期：2021-05-02）

（本文编辑：唐宗顺）