

教育神经科学：连接大脑科学与教学互动的桥梁

姜金汝^{1,2}

¹华北理工大学心理与精神卫生学院, 河北 唐山

²华北理工大学研究生学院, 河北 唐山

收稿日期: 2025年7月21日; 录用日期: 2025年8月8日; 发布日期: 2025年8月26日

摘要

“教育是对话，而不是独白”，积极有效的教学互动是提升学习效果的主要途径。随着脑成像等技术发展取得显著进展，教育神经科学作为神经科学、心理学与教育学深度融合的新兴学科，正深刻重塑着现代教育理念与实践。其核心聚焦于个体之间的学习互动，揭示不同教学互动中的大脑活动机制。本文首先明确教育神经科学的定义及理论支撑。其次，阐述不同脑成像原及并在教育领域的相关研究。最后，阐述教育神经科学在教学实践领域的意义。

关键词

教育神经科学, 教学互动, 人际神经同步

Educational Neuroscience: The Bridge Connecting Brain Science and Teaching Interaction

Jinru Jiang^{1,2}

¹School of Psychology and Mental Health, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

²Graduate School, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: Jul. 21st, 2025; accepted: Aug. 8th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

Abstract

“Education is a dialogue, not a monologue.” Positive and effective teaching interaction is the main

way to improve learning outcomes. With the remarkable progress in technologies such as brain imaging, educational neuroscience, an emerging discipline that deeply integrates neuroscience, psychology, and education, is profoundly reshaping modern educational concepts and practices. Its core focus lies on the learning interactions among individuals, revealing the brain activity mechanisms in different teaching interactions. First, this paper clarifies the definition of educational neuroscience and its theoretical underpinnings. Second, it expounds the principles of different brain imaging techniques and relevant research in the field of education. Finally, it elaborates on the significance of educational neuroscience in the field of teaching practice.

Keywords

Educational Neuroscience, Teaching Interaction, Interpersonal Neural Synchronization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当今知识爆炸的时代，教育承载着塑造个体未来、推动社会进步的重大使命。然而，长期以来，教育实践在很大程度上依赖于经验和传统，缺乏对学习过程中大脑运行机制的深入理解。教育神经科学聚焦于探究人类学习过程中的大脑活动规律，通过运用先进的脑成像技术，如近红外功能成像(FNIRS)，教育神经科学能够直观地观察大脑在学习过程中的动态变化，深入了解不同教学方法对大脑神经机制的影响。这不仅有助于我们从根本上理解学习的本质，还能为教育工作者提供科学依据，以设计更加个性化、高效的教学方案。

2. 教育神经科学

2.1. 教育神经科学的概念

随着科学技术的进步，特别是非侵入性神经成像方法的出现，人类教学和学习机制研究的方法论发生了演变，从行为主义和认知主义的隐喻方法扩展到脑科学(Morita, Asada, & Naito, 2016)。教育神经科学试图揭示学习过程中大脑的神经活动模式，例如在语言学习、数学学习、阅读学习等不同学习领域中，大脑哪些区域被激活，这些区域之间是如何协同工作的，关注不同个体在学习能力、学习风格等方面存在差异的神经基础(Privitera, Ng, & Chen, 2023)。其目的是利用神经科学研究的见解来评估不同的教学方法和教育干预措施对大脑的影响，以确定最有效的教学策略，改善学习效果(Thomas et al., 2019)。

2.2. 理论支持

社会建构主义理论作为一种主导的教育理论，强调学习是一个动态的过程，知识是通过社会互动和文化活动构建的。该理论认为，学生在与他人(如教师、同伴)的互动中，通过讨论、协作等方式分享观点、交流思想，从而实现知识的建构(Alesandrini & Larson, 2002)。学生不仅是知识的接受者，更是主动的学生和知识建构者，在这个理论下，教师角色发生变化，从知识传递者转变为学习的引导者和促进者(Johnson, 1981)。

在此基础上，交互-建构-主动-被动理论(ICAP)进一步细化了社会建构理论中的知识构建，将学习过程分为被动、主动、建构和交互四个层次，认为学生在不同层次的学习活动中，知识建构的深度和

效果均不相同。在被动层次, 学生处于被动接收状态, 如听讲座或观看视频, 对知识的参与度较低, 对知识的理解较浅(Wittwer & Renkl, 2008); 主动层次的学习要求学生在接受信息的同时, 主动进行思考或与教师互动等, 这能加深学生对知识的理解(Chi, 2009); 在建构层次, 学生不仅主动参与学习, 还能将所学内容与已有知识进行整合与内化, 形成自己的理解(Alesandrini & Larson, 2002); 交互层次则代表了最具深度的学习方式, 学生通过与他人积极、双向的信息交流与相互影响, 共同致力于知识的构建、问题的解决和意义的创造。在这种交互中, 参与者不再是独立的个体, 而是形成一个紧密协作的整体, 每个人的想法、观点和行动将受到他人的影响, 同时也对他人产生作用(Van de Pol et al., 2010)。

3. 脑成像技术

3.1. 近红外功能成像(FNIRS)

3.1.1. FNIRS 的理论依据

近红外功能成像的理论依据主要基于血红蛋白对近红外光的吸收特性以及神经血管耦合机制。人体组织中的血红蛋白是近红外光吸收的主要物质, 包括氧合血红蛋白(HbO₂)和脱氧血红蛋白(HbR)。在近红外光谱区域(650~950 纳米), 这两种血红蛋白对光的吸收特性存在差异(Duan et al., 2013)。氧合血红蛋白在较长波长处吸收相对较少, 而脱氧血红蛋白在较短波长处吸收较多。利用这种差异, 可以通过检测近红外光在组织中的吸收变化, 来间接测量两种血红蛋白浓度的变化(Cui et al., 2012)。

3.1.2. FNIRS 的基本原理

近红外功能成像系统通常由光源、探测器和数据采集分析设备组成。系统通过光源向头皮表面发射特定波长的近红外光。这些光会穿透头皮、颅骨和脑组织, 并在组织中发生散射和吸收。探测器放置在距离光源一定位置处, 用于检测经过组织散射和吸收后透射出来的近红外光。由于组织中血红蛋白浓度的变化会影响光的吸收, 因此透射光的强度会随血红蛋白浓度的改变而发生变化(Scholkmann et al., 2014)。数据采集设备记录探测器检测到的光强信号, 并将其传输到计算机中进行分析。通过特定的算法, 可以根据光强信号的变化计算出氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白浓度的相对变化。然后, 根据这些血红蛋白浓度的变化来推断大脑特定区域的神经活动情况(Ferrari & Quaresima, 2012)。

3.1.3. FNIRS 的优势

无创性: 近红外功能成像不需要向人体注射放射性物质, 也不会产生电离辐射, 对人体没有任何伤害, 也可以进行多次重复测量, 便于进行长期的跟踪研究。

便携性: fNIRS 设备相对小巧轻便, 不需要庞大复杂的辅助设施。这使得 fNIRS 可以在更自然的环境中使用, 例如在课堂、等场景下进行实时的脑功能监测, 为研究真实生活中的大脑活动提供了可能。

实时性: 能够实时、动态地监测大脑活动的变化, 时间分辨率可以达到秒级甚至更高(Duan et al., 2013)。这使得研究者可以观察到大脑在不同任务或刺激下的即时反应, 有助于深入研究大脑的认知过程和神经机制。

对运动不敏感: 与其他一些脑成像技术相比, fNIRS 对被试的轻微运动相对不敏感。在实际应用中, 被试可以进行一些自然的头部运动或简单的肢体动作, 而不会对测量结果产生严重影响, 这增加了研究的灵活性和实用性(Jiang et al., 2012)。

3.2. FNIRS 在教育实践中的应用

3.2.1. 课堂互动监测

FNIRS 可以监测师生互动过程中学生和教师大脑的同步性, 从而评估师生互动效果。当师生之间的

互动良好时, 双方大脑的某些区域可能会出现同步的活动模式(Takeuchi et al., 2019)。通过 FNIRS 可以量化这种同步性, 评估师生互动的质量和效果。例如, 在小组讨论或问答环节中, 通过观察师生大脑活动的同步程度, 了解教师的引导是否有效地激发了学生的思考和参与(Jin et al., 2024)。

观察学生在课堂讨论、小组活动等互动场景中的大脑活动情况, 判断他们的参与度和注意力水平。如果学生在互动过程中大脑活动活跃, 说明他们积极参与了讨论和思考; 反之, 如果大脑活动低迷, 可能表示学生对活动不感兴趣或参与度不高。教师可以根据这些信息及时调整教学策略, 提高学生的课堂参与度(Zhou et al., 2024)。

3.2.2. 优化教学方法

教育者可以利用 FNIRS 来研究不同教学方法对学生大脑活动及教学效果的影响。例如, 对比传统讲授式教学和小组合作探究式教学, 通过 FNIRS 检测学生在两种教学方式下大脑相关区域的活动情况(Pan et al., 2023)。如果在小组合作探究式教学中, 学生大脑的多个区域表现出更活跃的神经活动, 说明这种教学方法可能更能激发学生的学习兴趣 and 认知能力, 从而为教学方法的选择和优化提供科学依据。还有研究表明, 教师对学生使用精细反馈比简单反馈更能促进师生的脑间同步和知识的迁移(Zhu et al., 2022)。

FNIRS 可以帮助教师了解每个学生在学习特定知识时的大脑活动特征, 从而制定个性化的教学方案(Zhang et al., 2024)。对于在语言学习中大脑特定区域激活较弱的学生, 教师可以采用更有针对性的教学方法, 如增加实践活动、利用多媒体资源等, 以提高学生的学习效果。

3.2.3. 预测教学效果

FNIRS 可通过监测师生或生生之间大脑活动的同步性来预测教学效果。FNIRS 若能检测到师生在教学过程中大脑特定区域(如前额皮层)活动同步变化, 可能意味着知识有效传递, 预示较好的教学效果(Holper et al., 2013)。有研究表明, 在支架式教学中观察到显著的师生 INS, 并且对学生的创造性表现和习得有积极的预测作用(Jin et al., 2024)。脑间同步能作为检验知识理解和记忆的神经标志, FNIRS 若能捕捉到大脑活动的相关特征, 反映出学生对知识的理解和记忆情况, 便可据此预测教学效果。如学生大脑活动与教师的同步模式与知识理解和记忆相关, FNIRS 数据可用于判断学生学习效果(Davidesco et al., 2019)。FNIRS 也可以通过监测大脑活动的同步情况, 更有效地预测学生对知识的短时及长时记忆, 进而预测教学效果。若 FNIRS 检测到生生或师生之间良好的脑间同步, 可能预示学生在未来对知识有更好的记忆和掌握。

4. 教育神经科学对教育实践的意义

教育神经科学是一门新兴的交叉学科, 它将神经科学、认知科学和教育学的研究成果相结合, 旨在揭示学习和教育的神经机制, 为教育实践提供科学依据(Thomas et al., 2019)。教学互动过程中涉及到复杂的心理加工过程, 教育神经科学借助先进的脑成像技术, 如近红外光谱技术(FNIRS), 能够深入观察大脑在学习过程中的活动变化, 揭示学习的神经机制。(Privitera, Ng, & Chen, 2023), 为教育实践提供了全新的视角和科学依据。以下从教学实践的不同方面阐述其重要意义。

首先是优化教学设计, 改进教学方法, 促进个性化学习。每个学生的大脑发育和学习能力都存在差异, 基于教育神经科学的研究成果, 教师可以通过对学生大脑活动的监测和分析, 教师可以发现学生的学习优势和劣势, 制定个性化的学习计划和教学策略。例如, 对于视觉型学习者, 可以提供更多的图片、图表等可视化教学资源; 对于听觉型学习者, 则可以增加讲解和讨论的环节, 使每个学生都能在自己擅长的学习方式中取得更好的学习效果(Gu et al., 2024)。研究表明, 多样化的教学方式可以激发大脑不同区域的活动, 提高学习效果(Zhang et al., 2024)。因此, 教师可以采用多媒体教学、小组合作学习、探究式学

习等多种教学方法,满足学生不同的学习需求,提高教学质量。

其次是评估和预测学生的学习效果。在现实课堂中,人际互动在教学情境中不可或缺。教学互动作为课堂中一种重要的核心社会心理过程,深刻影响着课堂氛围的塑造。传统的学习评估主要基于学生的考试成绩和作业表现,存在一定的局限性。教育神经科学为学习评估提供了新的视角和方法。通过监测学生大脑在学习过程中的神经活动变化,可以客观地反映学生的学习状态和效果。例如,当学生在解决问题时,大脑的同步性可以反映其与老师或同伴知识传递的有效性,教师可以根据这些指标对学生的学习效果进行更全面、准确的评估(Xie et al., 2023)。

最后是更新教育观念,促进教师的专业提升,从传统的以教师为中心的教学模式向以学生为中心的教学模式转变。教育神经科学为教师提供了一系列科学的教学方法和策略。教师通过学习和掌握这些知识和技能,可以提升自己的教学能力。例如,教师可以运用神经科学的研究成果,设计更加有效的教学活动,优化教学过程,提高课堂教学的效率和效果。同时,教师还可以利用脑科学技术,对学生的学习情况进行监测和分析,及时调整教学策略,实现精准教学。

5. 总结

教育神经科学作为一门极具前瞻性与创新性的交叉学科,融合了神经科学、认知心理学、教育学等多学科的智慧与方法,在理论、实践和社会层面均展现出非凡的价值与意义。为教育理论注入了神经生物学的新鲜血液,使其更加科学、系统和完善,同时有力推动了多学科的交叉融合,催生新的研究思路与方法,拓展了学术研究的边界。为教学方法的优化提供了科学指引,助力教师根据学生大脑活动特点因材施教;能实现真正的个性化教育,针对每个学生的优势与劣势制定专属学习方案。未来,随着研究的不断深入和技术的持续进步,教育神经科学有望在教育领域发挥更为关键的作用,引领教育变革,为人类的教育事业开辟更加广阔的前景。

参考文献

- Alesandrini, K., & Larson, L. (2002). Teachers Bridge to Constructivism. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 75, 118-121. <https://doi.org/10.1080/00098650209599249>
- Chi, M. T. H. (2009). Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities. *Topics in Cognitive Science*, 1, 73-105. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01005.x>
- Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-Based Hyperscanning Reveals Increased Interpersonal Coherence in Superior Frontal Cortex during Cooperation. *NeuroImage*, 59, 2430-2437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.003>
- Davidesco, I., Laurent, E., Valk, H., West, T., Dikker, S., Milne, C., & Poeppel, D. (2019). *Brain-to-Brain Synchrony Predicts Long-Term Memory Retention More Accurately than Individual Brain Measures*. BioRxiv: 644047.
- Duan, L., Liu, W., Dai, R., Li, R., Lu, C., Huang, Y. et al. (2013). Cross-Brain Neurofeedback: Scientific Concept and Experimental Platform. *PLOS ONE*, 8, e64590. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064590>
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A Brief Review on the History of Human Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Development and Fields of Application. *NeuroImage*, 63, 921-935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.049>
- Gu, C., Peng, Y., Nastase, S. A., Mayer, R. E., & Li, P. (2024). Onscreen Presence of Instructors in Video Lectures Affects Learners' Neural Synchrony and Visual Attention during Multimedia Learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121, e2309054121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2309054121>
- Holper, L., Goldin, A. P., Shalóm, D. E., Battro, A. M., Wolf, M., & Sigman, M. (2013). The Teaching and the Learning Brain: A Cortical Hemodynamic Marker of Teacher-Student Interactions in the Socratic Dialog. *International Journal of Educational Research*, 59, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2013.02.002>
- Jiang, J., Dai, B., Peng, D., Zhu, C., Liu, L., & Lu, C. (2012). Neural Synchronization during Face-To-Face Communication. *The Journal of Neuroscience*, 32, 16064-16069. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2926-12.2012>
- Jin, Z., Yin, J., Pan, Y., Zhang, Y., Li, Y., Xu, X. et al. (2024). Teach a Man to Fish: Hyper-Brain Evidence on Scaffolding Strategy Enhancing Creativity Acquisition and Transfer. *NeuroImage*, 297, Article ID: 120757.

- <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120757>
- Johnson, D. W., Maruyama, G., Johnson, R., Nelson, D., & Skon, L. (1981). Effects of Cooperative, Competitive, and Individualistic Goal Structures on Achievement: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 89, 47-62. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.89.1.47>
- Morita, T., Asada, M., & Naito, E. (2016). Contribution of Neuroimaging Studies to Understanding Development of Human Cognitive Brain Functions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, Article 464. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00464>
- Pan, Y., Cheng, X., & Hu, Y. (2023). Three Heads Are Better than One: Cooperative Learning Brains Wire Together When a Consensus Is Reached. *Cerebral Cortex*, 33, 1155-1169. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhac127>
- Privitera, A. J., Ng, S. H. S., & Chen, S. H. A. (2023). Defining the Science of Learning: A Scoping Review. *Trends in Neuroscience and Education*, 32, Article ID: 100206. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2023.100206>
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Mata Pavia, J., Wolf, U. et al. (2014). A Review on Continuous Wave Functional Near-Infrared Spectroscopy and Imaging Instrumentation and Methodology. *NeuroImage*, 85, 6-27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>
- Takeuchi, N., Mori, T., Suzukamo, Y., & Izumi, S. (2019). Activity of Prefrontal Cortex in Teachers and Students during Teaching of an Insight Problem. *Mind, Brain, and Education*, 13, 167-175. <https://doi.org/10.1111/mbe.12207>
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2019). Annual Research Review: Educational Neuroscience: Progress and Prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60, 477-492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in Teacher-Student Interaction: A Decade of Research. *Educational Psychology Review*, 22, 271-296. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Wittwer, J., & Renkl, A. (2008). Why Instructional Explanations Often Do Not Work: A Framework for Understanding the Effectiveness of Instructional Explanations. *Educational Psychologist*, 43, 49-64. <https://doi.org/10.1080/00461520701756420>
- Xie, E., Li, K., Gu, R., Zhang, D., & Li, X. (2023). Verbal Information Exchange Enhances Collective Performance through Increasing Group Identification. *NeuroImage*, 279, Article ID: 120339. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120339>
- Zhang, Y., Hu, Y., Ma, F., Cui, H., Cheng, X., & Pan, Y. (2024). Interpersonal Educational Neuroscience: A Scoping Review of the Literature. *Educational Research Review*, 42, Article ID: 100593. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100593>
- Zhou, X., Wang, L., Hong, X., & Wong, P. C. M. (2024). Infant-Directed Speech Facilitates Word Learning through Attentional Mechanisms: An fNIRS Study of Toddlers. *Developmental Science*, 27, e13424. <https://doi.org/10.1111/desc.13424>
- Zhu, Y., Leong, V., Hou, Y., Zhang, D., Pan, Y., & Hu, Y. (2022). Instructor-Learner Neural Synchronization during Elaborated Feedback Predicts Learning Transfer. *Journal of Educational Psychology*, 114, 1427-1441. <https://doi.org/10.1037/edu0000707>