

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：教学互动中师生脑间同步性及其调节因素

作者：巩芳颖、孙逸梵、贺琴、石可、刘伟、陈宁

第一轮

审稿人 1 意见：

文章结构较为清晰，聚焦于教师和学习者互动的不同形式，为教育领域的实践提供了有益的启示和指导。与此同时，也存在着一些问题有待进一步说明或改进。

回应：非常感谢您对于本研究内容与意义的肯定，使我们更有动力继续完善初稿！针对您的疑问，我们对文章相关内容进行了修改，并在下面作出了逐一回应。

意见 1：对于关键的概念界定不清。在教学互动的神经基础中，作者细分为了“言语互动为主的教学互动”、“非言语互动为主的教学互动”和“混合互动的教学互动”。这样分类的依据是什么？如何清晰界定这三种类型的教学？在文章列举的研究例子中，“面对面的言语教学”因其同时包含非言语线索，到底应归属到言语互动教学还是混合教学？在真实的主流教学情境中很少涉及单纯非语言互动的教学，列举的“教师手势对学习者的视频学习认知神经机制的影响”是属于“混合互动教学”中的非言语线索还是“非言语互动教学”？建议作者重新梳理概念关系，避免混淆。

回应：非常感谢您的批评与指正！正如您所述，在真实的教学情境中确实很少涉及单纯言语或非言语互动的教学，面对面的言语教学同时包含非言语线索。但在教学研究当中，为达到不同的研究目的，研究者会侧重言语或非言语中的一点，控制其他影响因素，从而探究该互动方式的独特效应。在所列言语互动为主的研究结果中，面对面教学研究采用的教学方式皆为结构化教学，禁止双方提问减少额外非言语线索的影响。基于此作者将列举的“面对面的言语教学”归属到“侧重言语互动为主的教学互动”。而文中列举的“教师手势对学习者的视频学习认知神经机制的影响”是在控制言语互动的基础上，属于侧重非言语互动的教学互动。

参考李玉华等人(2018)的研究(李玉华, 陈睿, 何清华. (2018). 功能性近红外光谱技术在社会互动脑机制研究中的应用. *心理科学*, 41(2), 305-311.), 结合教学互动的交流方式和信息传递的途径以及以往研究主要关注的内容, 本文界定了教学互动的三种分类方式: 侧重言语互动的教学互动、侧重非言语互动的教学互动以及混合互动, 并对其重新界定, 具体修改如下(详见正文第 2、4、6 页第一段, 1.1、1.2、1.3 部分内容表示)。

意见 2：研究的回顾全面性欠缺。例如，面部表情、目光、体态和手势等均为非言语线索，但作者聚焦了手势的作用而忽略了面部表情、目光接触等更为典型的非言语线索的作用，建议补充相关信息。

回应：非常感谢您的批评与指正！如您所述，面部表情、目光、体态和手势等确实均为教学当中重要的非言语线索，因此作者重新检索了相关文献，在修改稿中增加了面部表情和目光接触等非言语线索的作用（详见正文第 4-5 页，1.2 部分内容表示）。

意见 3：对文献的整合分析有待进一步深入。文章区分了三类互动教学，但是对于三类互动教学涉及的神经机制的共性和特异性分析非常有待进一步加强，同时，文章提出的“驱动—

互动同步”的过程模型缺乏理论依据和论证。

回应: 非常感谢您的批评与指正!根据您的建议,针对三类互动教学涉及的神经机制的共性和特异性,作者在现稿中进行了加强说明。其中,共享的神经机制主要集中在额叶和颞顶联合区,而特异性主要表现为:相较于其他互动形式,非言语互动更能特异性地激活与视觉处理和空间信息有关的枕叶和顶叶;混合互动更明显激活了与语言产生和运动理解的高级脑区——双侧额下回等。此外,针对提出的“驱动—互动同步”的过程模型,现稿进一步引入了自我—他人重叠理论与 Burgess 等学者的观点,以深化对教学互动脑间同步性及其过程机制的认识(详见正文第 7-9 页)。

意见 4: 对调节要素的维度整合不足。作者探讨了教学能力、教学策略、知识经验以及学习者先验知识、情绪情感对教学互动的影响。然,教学的调节要素非常之多,为何选取这些而非另一些要素进行分析?作者需要进一步阐述原因。

回应: 非常感谢您的提问!如您所述,教学的调节要素非常之多,我们只探讨了教学能力、教学策略、知识经验以及学习者先验知识、情绪情感对教学互动的影响。这是由于在教育研究中缺少以超扫描技术探究教学互动其他影响因素的实证研究。在现稿中,我们对相应的表述进行了调整,进一步阐述原因(详见正文第 9 页)。

意见 5: 新观点有待进一步提炼。作者提出“元认知加工、心理理论、工作记忆、言语加工、情绪等相关脑区的协同作用构成教学互动的神经基础”以及“教学互动脑间同步性受到教学能力、教学策略、知识经验以及情绪情感等教育性因素的影响”。读者或许更希望知道,这些要素是如何协同作用的,调节要素是如何一步步调节的。

回应: 非常感谢您的批评与指正!在原稿中确实缺少关于要素的协同作用和调节要素如何调节的总结性论述,在现稿中作者进一步对上述要素或调节变量的联合作用进行了补充说明(详见正文第 12 页)。

意见 6: 行文逻辑和论证过程需要加强。例如文章介绍了言语教学互动后双方情感脑区脑同步的激活,但据此推导出的“师生脑间同步是情感关系的基础”,这显然不够严密;“嗣后有研究表明,当教师采用象征性手势或指示性手势进行教学时...”,这两种手势的具体含义与区别是什么?“但是为成功地实现互动学习的协调,教师和学习者也会自发或自觉地启动补偿性神经资源,以期达到有规律睡眠条件下的学习状态...”这一观点是如何体现的?有没有情绪情感与教学更为直接相关的研究?仅从睡眠这一个方面论证情绪情感对教学互动的影响显得有些证据不足。类似的例子不一列举,请作者自行检查。

回应: 非常感谢您的批评与指正!关于行文逻辑及论证过程作者在修改稿中进行了重新梳理。

①“师生脑间同步是情感关系的基础”这一推论确实不甚严密,因此现稿中取消了这一提法(详见正文第 3 页)。

②关于象征手势和指示手势两种手势的区别,现稿中具体阐述了其含义与区别(详见正文第 4-5 页)。

③关于情绪情感对教学互动的影响,现稿进一步补充了相关论据(详见正文第 11 页)。

.....

审稿人 2 意见:

该综述汇总了近期采用超扫描技术对于教学过程中师生互动的脑基础。作者首先综述了言语、非言语以及混合互动等三种教学互动领域取得了研究成果,发现了前额叶等在内的多个脑区共同参与的脑网络参与了师生互动过程。进一步,作者汇总了已有关于教学能力、教

学策略、知识经验、情绪等多因素调节师生互动行为的研究成果，并对未来的研究做了一定的展望。从目前版本上来看，该综述较好地总结了已有的研究，但对于该领域取得的进展并没有给出自己独特的视角和评述，同时也存在一些不足之处。

回应：非常感谢审稿专家对于本研究的肯定，使我们更有动力地秉持着严谨的态度去修改初稿，针对您的疑问我们进行了逐一修改。

意见 1：教学互动是教师和学习者在特定情境下的双向互动过程，本文基本上没有谈及这方面的研究进展。

回应：非常感谢您的批评与指正！正如您所说，教学互动是教师和学习者在特定情境下的双向互动过程。但就目前的研究来看，教学互动大多研究教师对学习者的学习效果、情绪的影响以及教师和学习者互动过程中的人际神经同步，关于学习者对于教师认知和情绪影响的研究确实鲜有介绍。仅有部分研究探讨了学习者对教师在讲课期间，与老师建立更紧密联系的学习者表现出更高的 IBS(Bevilacqua et al., 2019)。现稿中我们补充了这一部分内容的介绍（详见正文第 11 页）。

意见 2：目前已有的研究虽然有着相关性研究证据、因果性证据(如 dual-tACS 等)，但这些证据与教学互动过程中的行为证据间的关联性似乎不是很充分。

回应：非常感谢您的指正！教学互动过程中的行为证据间确实是我们的遗漏，根据您的建议，现稿中我们增加了教学互动有关行为的研究结果（详见正文第 6-7 页）。

意见 3：作者提到的情绪或情感因素的研究并不直接，存在表述不准确的现象。

回应：非常感谢您的批评与指正！作者在修改稿中补充了该部分的说明，由于两位专家意见都涉及于此，采用统一颜色进行表示（详见正文第 11 页）。

意见 4：目前已有的研究涉及到脑内多个脑区，作者应该加一个元分析，试图分析哪些脑区可能是师生互动的关键脑区。

回应：非常感谢您的建议！目前已有的研究涉及到脑内多个脑区，现如今的混合互动研究相对较少，基于目前的研究可能难以支撑一篇元分析分析师生互动的关键脑区。根据您的建议，考虑到教学互动涉及的多个脑区，现稿中补充了对师生互动关键脑区的说明，由于两位专家意见都涉及于此，采用统一颜色进行表示（详见正文第 7-8 页）。

第二轮

审稿人 1 意见：

该综述对目前师生互动中的脑间同步性研究进行了汇总。尝试通过不同脑区的脑间同步性来作为神经生物基础解释师生互动的认知神经机制。作者通过将教育互动分为言语、非言语和混合三种，并且罗列了近期这三方面的研究，并且对三个不同类别的教育互动的潜在发生的脑区进行了进一步的讨论。此外，作者对教育互动下的脑间同步性的影响因素的研究进行了汇总。总的来说，该综述罗列的一些近期研究，也在小结提出了一些理论解释。但是，仍然由一些问题需要解决。

回应：非常感谢审稿专家的对于本研究的肯定，使我们更有动力地秉持着严谨的态度去修改初稿，针对您的疑问我们进行了逐一修改。

意见 1: 首先, 作者目前使用的是修改后的题目“教学互动中师生脑间同步性的认知神经机制”。从目前版本的题目上来看, 作者旨在研究在教学互动中, 师生脑间为什么会产生同步性? 具体的认知神经机制是什么? 但是, 文章前言开篇提到“本文即从这一视角对相关文献进行梳理, 探讨教学互动的神经基础及其影响因素的神经机制, 为深入理解教学情境中的互动过程、促进互动质量提供依据。”所以文章到底是研究哪个具体问题, 是研究脑间同步性的产生, 还是教学过程中师生互动的神经机制?

回应: 非常感谢您的批评与指正! 结合第一轮和第二轮两位专家的评审意见, 针对您的疑问, 经几位作者结合全文内容进行讨论之后, 已将标题改为“教学互动中师生脑间同步性及其调节因素”。本文借助认知神经科学的证据, 从师生脑间同步性这一视角对相关文献进行梳理, 探讨教学互动的神经基础及其脑间同步性的影响因素, 为深入理解教学情境中的互动过程、促进互动质量提供依据。

意见 2: 社交过程中的神经同步性的内部发生机制仍然不清楚, 目前也存在一些质疑, 建议在介绍神经同步性的时候, 将最新的动物脑间同步性及其内部机制也加入到综述中。

回应: 非常感谢您的建议! 根据您的建议, 作者在现稿中增加了动物脑间同步性及其内部机制的研究结果(详见正文第 5 页、第 8 页)。

意见 3: 目前的展望部分还是创新性不够, 对未来该领域的发展不能给予足够的提示。建议作者从理论和实践应用层面, 提出更符合该领域未来发展的创新性的方向。

回应: 非常感谢您的建议! 作者在现稿中从理论和实践应用层面, 提出更符合该领域未来发展的创新性的方向(详见正文第 13-14 页)。

意见 4: 作者目前版本中提到教育互动的神经标志物是师生脑间同步, 认为师生脑间同步可能是预测学习表现的理想标志物。甚至可以通过一些神经刺激的方式来促进师生脑间同步性, 从而提高学业表现, 我这里存在一些疑惑, 以目前现有的证据, 能否已经可以使用神经标志物一词? 如果可以, 那么意味着脑间同步性和师生互动, 脑间同步性和学习表现在任何情境下都是高度绑定的。但是, 在有些特定情境下, 例如教学过程中需要要求学生需要具有创新性, 批判性思维, 那神经同步性能否在要求学生做出一些特异表现时, 仍然能作为学业表现或者师生互动好坏的神经标志物呢?

回应: 非常感谢您的批评与指正!

①以目前现有的证据, 脑间同步性与学习表现并非高度绑定的, 二者关系会受到互动风格(面对面互动、非面对面互动)和模式(话轮频率)(Zhang et al., 2022), 脑间同步性与学习表现之间的关系尚未统一(Bevilacqua et al., 2019; Davidesco et al., 2023), 在现稿中更改了师生脑间同步可能是预测学习表现的理想标志物的介绍(详见正文第 7 页)。

②在有些特定情境下, 神经同步性能否在要求学生做出一些特异表现时, 仍然能作为学业表现或者师生互动好坏的神经标志物? 目前的研究来看, Xue 等人(2018)研究指出通过合作, 创造力较低的个体的表现同创造力较高的个体一样好, 较低创造力组在前额叶皮质和右侧颞顶联合脑区的 IBS 特异性增强。此外, 针对小组成员身份的影响, Liang 等人(2022)发现创造性任务中领导者—追随者在右侧颞顶联合区的人际神经同步性显著低于控制条件, 群体创造中的 IBS 与最终任务绩效呈正相关。相比一般任务, 领导者产生的想法更新颖、更独特, 具有不同知识和经验的追随者可能难以理解他们的意图或形成共同的表征, 从而导致较低的人际脑间同步性。

基于现有研究, 考虑到教师和学习者的身份以及知识水平, 我们推断在要求学生做出一些特异表现时, 神经同步性可以作为师生互动的神经标志物, 但确定师生互动好坏程度需要

考察其他调节因素的影响。

参考文献:

- Liang, Z., Li, S., Zhou, S., Chen, S., Li, Y., Chen, Y., Zhao, Q., Huang, F., Lu, C., Yu, Q., & Zhou, Z. (2022). Increased or decreased? Interpersonal neural synchronization in group creation. *NeuroImage*, 260, N.PAG.
- Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *NeuroImage*, 172, 527–537.
- Zhang, L, Y., Xu, X, X., Li, Z, S., Chen, L, Y., & Feng, L, P. (2022). Interpersonal neural synchronization predicting learning outcomes from teaching-learning interaction: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 13, 835147.

意见 5: 最后，虽然作者尝试建立一些理论框架来解释三种不同类型的师生互动，但是仍然存在一些问题。“驱动—互动”理论如果仅仅建立在自我—他人重叠，以及 Burgess(2013)对脑电信号同步性方法的阐述的话，还是略显单薄。建议完善理论的构建，需要将现有的“驱动-互动”理论建立在更为坚实的前人理论基础。

回应: 非常感谢您的批评与指正！作者重新梳理文献，现稿中完善了驱动—互动理论的构建（详见正文第 8-9 页）。

.....

审稿人 3 意见:

文章的质量有了一定程度的提升，但仍存在以下问题需要进一步完善。

回应: 感谢审稿人的意见。我们将按照您的建议继续修改和完善文章。

意见 1: 文章的概念和组织仍存在混乱等问题。现标题为“教学互动中师生脑间同步性的认知神经机制”，简而言之“脑间同步的认知神经机制”就我所知，脑间同步本身是一类神经机制，并非一个心理过程。对神经机制如何再进行认知神经机制的探讨?这让人难以理解，亦和本文的内容不符。再者，文章题目应是各个部分内容的有机融合并提炼之后的观点体现，作者需慎重思考每一级的标题。

回应: 非常感谢您的批评与指正！正如您所说，脑间同步本身是一类神经机制，并非一个心理过程，的确不能再进行认知神经机制的探讨。结合两位专家两轮修改意见，经几位作者结合全文内容进行讨论之后，已将标题改为“教学互动中师生脑间同步性及其调节因素”。

意见 2: 三类教学互动的界定理由并不充分，显得生硬，教育心理领域中是否有这三类教学活动的划分?教学活动通常都是包含言语和非言语信息的，我们确实可以去细致考察教学活动的言语信息传递的脑机制，非言语信息传递的脑机制，但更多的应该是分析大脑活动或脑间同步如何表征教学互动中言语或非言语信息的传递过程(例如 IBS 预测传递过程)，而非把相关的教学互动研究进行三个分类，笼统地汇报发现的脑激活或脑同步。即便按现有的进行了侧重言语和侧重非言语的分类，该类互动活动中也可能包括小部分其他信息(20%)，那么该类别下的脑激活或脑同步也可能是由于言语和非言语信息共同导致的，又该如何解释这类脑激活或脑同步?

回应: 非常感谢您的批评与指正！

①文中对于三类教学互动的划分并非是机械性的，关于三类教学互动的介绍，现稿中重新进行了修改（详见正文 2、4、5 页第一段，1.1、1.2、1.3 部分内容表示）。

②正如您所说，研究更多的应该是分析大脑活动或脑间同步如何表征教学互动中言语或非言

语信息的传递过程(例如 IBS 预测传递过程)。但在多数情况下, IBS 神经认知过程尚未清晰, 教学互动中师生脑间同步性如何通过言语、非言语这些过程实现成功脑间同步性有待深入探讨。此外, 目前针对教学互动中 IBS 预测传递过程的研究较少, 仅有部分研究报告了教学互动过程中 IBS 预测传递过程, 且在时间进程上表现出差异(Davidesco et al., 2023; Zheng et al., 2018)。

③目前, 我们根据原始文献的研究对象是独立的言语、非言语、混合来进行报告的, 在研究中已经对可能的混合影响进行了尽可能的控制或者平衡, 因此得到的结果能够相对准确的反映出研究对象的认知神经基础。当然, 诚如您所说, 无论在实验室情景中还是生态效度更高的教学情境中, 多种教学手段的相互影响是不可避免的, 尤其是往往居于主导地位的言语信息的影响。此外, 针对非言语互动的研究, 我们补充了动物间脑间同步性的研究, 分离言语互动的影 响(详见正文第 5 页)。

意见 3: 作者在意见回复中提到“在所列言语互动为主的研究结果中, 面对面教学研究采用的教学方式皆为结构化教学, 禁止双方提问减少额外非言语线索的影响。基于此作者将列举的“面对面的言语教学”归属到“侧重言语互动为主的教学互动”, 但是, “结构化教学”与“禁止双方提问”的做法为何会减少非言语线索?

回应: 非常感谢您的批评与指正! 首先, 非言语线索包括面部表情、肢体动作、眼神交流等, 这些通常在交流中起到补充言语信息、调节谈话流程、表达个人情绪和态度等功能。然而, 在侧重言语互动的教学研究中, 过多的提问交流会可能会增加学生信息的处理负荷, 尤其是在旨在评估言语交流效果的实验设置中。首先, 结构化教学可以减少师生的即兴互动, 教师和学生的交流更加规范。其次, 禁止双方提问确保教师不需要频繁读取和响应学生的非言语反馈(如迷惑的面部表情), 降低了教学互动的复杂性, 使得教师和学生都更少依赖非言语线索来调节和理解交流过程。

据此, 文中对于三类教学互动的划分并非是机械性的, 关于三类教学互动的介绍, 现稿中重新进行了修改(详见正文 2、4、5 页第一段, 1.1、1.2、1.3 部分内容表示)。

意见 4: 在写作上存在较多逻辑不清的地方。例如文章提到, “嗣后有研究表明, 当教师采用象征性手势或指示性手势进行教学时, α 波(8—13Hz)和 β 波(14—29Hz)的波能量均会下降(Quandt et al., 2012)。 α 和 β 波与视觉空间注意力的分配和复杂的认识活动密切相关(He et al., 2018), 因而象征性手势比指示性手势调动更多的视空间注意分配资源参与认知活动。”前一句“象征性手势或指示性手势都会使 α 波和 β 波的波能量下降”, 如何得出“象征性手势比指示性手势调动更多的视空间注意分配资源参与认知活动”的结论?

回应: 非常感谢您的批评与指正! 关于得出“象征性手势比指示性手势调动更多的视空间注意分配资源参与认知活动”的结论确实是我们的疏漏, 现稿中我们对此研究结果进行了重新整理(详见正文第 5 页)。

意见 5: 全文各部分的篇幅需要斟酌。例如, “1.5 小结”部分的内容非常多, 在这个章节下, 既有对前面三个部分的小结, 也有对脑区的解释和教学互动发生发展的机制模型 的描述。建议作者优化各部分的内容和标题。

回应: 非常感谢您的批评与指正! 现稿中重新优化部分的内容和标题, 并且重新梳理的 1.5 小结中的内容(详见正文第 7-9 页)。

意见 6: 全文仍有一些标点符号、错别字等细节错误, 建议再仔细检查。

回应: 非常感谢您的批评与指正! 这确实是作者的疏忽, 现稿中重新检查了标点符号以及错

别字，在此不再一一列举。

第三轮

审稿人 1 意见：

当前稿件有了一定程度的质量提升。但文章的概念组织仍存在混乱等问题，作者关于各级标题的内容及表述仍需要斟酌。

回应：感谢您对我们上一轮修改工作的认可。您提出的新修改意见有助于我们更好地提升理论框架的逻辑性与严谨性。以下，我们针对您具体的修改意见对相关问题做出修改和完善。

意见 1：例如，“2 教学互动的影响因素及脑间同步性的神经基础”，作者是否在文章中介绍了脑间同步性的神经基础?如何理解脑间同步性的神经基础。

回应：非常感谢您的批评与指正！实际上是我们的标题 2 有歧义，引起了误解。我们在第二部分中没有关于“脑间同步性”这一现象产生的神经基础的论述，因为本综述所关注和讨论的内容并不聚焦于“脑间同步性的神经基础”这一相对宽泛的主题，而是希望向读者阐述“在教学情境下，影响脑间同步性的各类因素”以及这些因素是通过哪些神经基础（即对应脑区）或者机制影响师生间的脑间同步的。我们已经对可能造成误解的标题进行了修改（详见正文第一部分、第二部分各标题）。

.....

审稿人 3 意见：

作者已经按照之前提出的几个意见进行修改，但是，目前还有一些细节的方面需要继续进行修改。具体内容如下：

回应：感谢您对我们上一轮修改的认可，针对您为进一步完善本文新提出的宝贵建议，我们进行了逐一修改，详细请您参考以下说明及最新版本的正文。

意见 1：论文虽然对师生同步性进行了综述，但是对如何应用这种机制提高教学效果讨论不多，也不够深入。是否可以增加这部的讨论篇幅?例如，是否可以通过师生神经反馈的方式提高教学效果等等。

回应：非常感谢您的建议！在实际的教学场景中，如何应用师生同步性提高教学效果的确需要深入探讨。经过审稿专家的提醒，作者增加了师生同步性与教学效果的讨论并且检索了神经反馈与教学的相关文献（详见正文第 12 页）。

意见 2：师生同步性是否收到文化影响，东西方文化下，师生同步性表现是否一致呢?请将这个部分补充到论文中。

回应：非常感谢您的建议！在当前的教育研究背景下，文化差异对于我们的研究主题有着重大的意义。因此，经过审稿专家的提醒，作者就相关主题进行了更进一步的检索文献。但是，检索结果发现，目前关于东西方文化对于师生同步性的影响研究仍然相对较少。因此，我们不仅在文中补充了关于脑间同步性与文化的影响（详见正文第 11 页），并且在展望中对这一主题进行了申明（详见正文第 14 页）。

意见 3：“学习者在教学活动中的参与度与积极性(Sun et al,2022)”，这里引用出现问题，请检查全文是否存在一些细节上的问题。

回应：非常感谢您的批评与指正！这确实是作者的疏忽，现稿中重新检查相关引用（详见正文第 1 页）。

第四轮

审稿人 3 意见：没有进一步意见，同意发表。

编委 1 意见：经审阅，论文已达到发表水平，同意刊发。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：稿件经过多位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到了发表水平，同意发表。