

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：脑间同步性的产生机制、影响因素及其功能

作者：术鑫迪, 刘菡茵, 王瑾, 刘志远, 刘兰芳

第一轮

审稿人 1 意见：

本文综述了脑间同步性的产生机制、影响因素及其功能，最后还提出了双脑信息加工模型试图解释脑间同步机制。然而，双脑信息加工模型提出的比较突兀，尤其是为什么突然提到了奖赏系统。具体问题如下：

意见 1：

作者把 IBS 的度量方法看作是 what，产生机制和神经基础看作是 how，影响因素看作是 when，IBS 的功能意义看作是 why，前两者 what 和 how 还比较合适，但是 when 和 why 归类的就比较牵强。

回应：

感谢您的指正。我们已经将 what, how, when, why 这些说法删除，改成了以下说法：“脑间同步的定义与度量方式，产生脑间同步的驱动因素、认知机制和神经基础，并分析了影响脑间同步的关键变量以及脑间同步的潜在功能意义”。另见对专家 2 问题 6 的回复。（正文 47-49 行）

意见 2：

关键词只有三个，并没有概括完整本文的主要观点。

回应：

感谢您的指正。为了完整概括本文的主要观点，我们增加并修改了关键词，包括：**人际互动 脑间同步性 共同表征 相互预测**（正文 12 行）

意见 3：

关于脑间含义同步，作者提到“另参见 (Holroyd, 2022) 对 IBS 的更严格定义。”，读者很想知道准确的定义到底是什么？

回应：

感谢您的建议。我们对此进行了补充：

“另有学者 (Holroyd, 2022) 对该术语进行了更严格的定义，认为只有在实时互动中产生、对行为具有因果影响的个体间相关或同步神经活动现象才能被称为 IBS。由于 IBS 与行为的因果关联难以证实，目前大多数文献中报告的 IBS 指的是广泛含义上的脑间同步现象，本文也沿用该定义。”（正文 66-69 行）

意见 4:

关于 IBS 的度量，作者提到“多模态数据的分析方法也被称为 XGLM”，请写明全称。

回应:

感谢您的指正。GLM 指的是广义线性模型（General Linear Model, GLM），前面加 x 是为了说明模型中预测变量的多样性。我们对原文进行了修改：

“在回归分析中，常利用广义线性模型（General Linear Model, GLM），根据他人大脑活动以及其他数据来建模个体的大脑活动。相比 ISC 方法，回归分析允许包含多模态数据，具有更高的灵活性。例如，可将他人同步、滞后以及超前出现的脑信号都纳入预测变量。此外，在交互过程中实时出现的声音、面部表情等外部环境变量也可纳入预测变量。在多人互动任务中，还可将多名被试的脑信号纳入预测变量，用以考察目标被试与群体之间脑活动的关联。由于自变量的多样性，该类分析方法也被称为 xGLM (Hamilton, et.al, 2021)。”（正文 94-100 行）

意见 5:

关于 IBS 的影响因素，情景条件下面为什么语言交流只发生在合作情景下，非语言交流就只存在于竞争情景，肢体动作就是独立和任务收益情景呢？这个表的安排怎么看呢？请参考老外综述列的表，呈现清楚影响因素。

回应:

感谢您的建议。我们对表格的呈现形式进行了修改，如下表所示。其中第一列内容（互动类型、任务情境、人际关系……）对应了影响 IBS 的四种因素。第二列内容对应的是每种因素下的一些具体变量情况，例如，互动类型包括了语言交流、非语言交流、肢体动作。（正文 294 行）

表 1 IBS 的影响因素

因素类型	具体变量
互动类型与强度	类型：语言交流、非语言交流、肢体动作 强度：低、中、高
任务情境	合作、竞争、独立、任务收益
人际关系	依恋关系、群组身份、文化背景
个体特质与状态	性别、年龄、人格、共情、注意、情绪、动机

意见 6:

关于信息加工模型，为什么神经同步、行为同步就与奖赏系统构成环路呢？注意的作用呢？情境涉及的共同表征和共同注意为什么与共同情绪唤起有关，脑间信息加工就一定会唤起情绪吗？为什么预测编码又跟记忆系统有关？总之，双脑信息加工模型并没有基于信息加工方面的理论，更多的是作者的大胆臆测。

回应:

感谢您的指正。该信息加工模型确实还较为粗陋，主要来自我们对 IBS 现象的主观认识与思考，有许多方面还未思考清楚。在修改版中，我们已经将该模型删除。其中对读者可能具有潜在启发性的观点，我们以讨论的形式将其放在了文中相关之处。例如：

“综上，我们总结了与脑间同步存在密切关联的几大因素，…… 这些因素如何影响脑间同步？结合以上第三部分脑间同步的产生机制，我们提出以下可能性：（1）在社交情境中，刺激特性（强度、新颖性等自下而上因素）和任务目标（自上而下因素）驱动个体间产生共同注意。互动性强且需要合作的任务，驱动的共同注意程度高，因此参与者的脑间同步性强。（2）经过注意系统的信息过滤后，个体基于自身的记忆系统对情境进行加工和表征。人际关系越紧密的个体，其过往的经历也越相似，对于任务情境形成的表征相似度也越高，因此相应的脑间活动也越同步。（3）根据‘相互注意-脑间同步-奖赏环路’理论（Gvirts & Perlmutter, 2019），脑间同步通过社会对齐激活奖赏系统，该系统又进一步调节脑间同步性。对于相同的刺激，在人格、性别、共情能力等特质方面存在差异的个体，其奖赏系统的激活程度可能不同，因此影响个体与他人的脑间同步性。这些假设还有待检验。”（正文 281-294 行）

意见 7:

最后结语部分提出的问题过于简略，跟作者提出的双脑信息加工模型更是没有关系。

回应:

感谢您的指正。我们重新撰写了“总结与展望”（正文 367-439 行）。首先总结了文中的主要内容，然后指出了当前研究存在的两个局限性及其应对思路：（1）不同研究者采用的 IBS 度量指标类别众多、各不相同；（2）关于“不同大脑之间如何建立关联”的具体过程认识尚浅。

最后，我们详细阐述了可进一步深入探索的四个问题：“共同表征”与“相互预测”的关系”、人际交互中的“去同步”、“互动后脑间耦合”与“跨脑可塑性”和不同人际交互形式的异同，我们将“双脑信息加工模型”的部分观点放入了对“共同表征”与“相互预测”的关系”这一问题的讨论中。

意见 8:

文中漏字的地方较多，有些句子的表述也过于长。

回应:

感谢您的指正。在修订过程中，我们已经仔细检查全文，修正所有可能的漏字和拼写错误，并对句子的结构进行优化。

.....

审稿人 2 意见:

本文作者从个体间脑活动信号的同步性（inter-brain synchronization, IBS）的度量方法、认知机制与神经基础，影响 IBS 的主要因素和 IBS 的功能意义等角度对 IBS 的相关研究进行了介绍和评述，并提出了以共同表征和预测编码为核心机制的“双脑”信息加工模型。以下是我对本文写作方面的建议：

意见 1:

作者对许多文献的介绍较为简略，只是简单地描述不同情境或不同任务中的 IBS 变化。作者在 2.2 已经介绍了 IBS 的不同度量方法，这些不同的度量方法可能反映了不同的认知加工或者生理基础。但在对具体研究的介绍中，作者没有再严谨地区分不同研究中使用的度量方法，所以建议作者更加详细地区分依据不同指标得到的结论，以帮助读者更好地理解 IBS 的认知神经基础。

回应:

感谢您的指正和建议。我们很赞同“不同的度量方法可能反映了不同的认知加工或者生理基础”这一观点，并尝试对现有实证研究进行了分析和归纳（见本文档的附录页），以发现其中的规律。但由于 IBS 的度量方法种类过于繁多，并且绝大多数研究者并未说明其选用特定指标的理由，也未在同一研究中采用不同的指标对结果进行相互验证，我们较难得出清晰、可靠的结论，故该结果未放入正文中。

在修改稿中，我们列出了实证研究所采用的度量指标，例如，“有研究者利用功能性近红外光谱（fNIRS）技术，以相干性作为 IBS 的度量指标，评估了 ASD 儿童与其父母在合作任务中前额叶皮层的脑间同步。”此外，在“总结与展望”部分，我们指出“IBS 度量指标不统一”是当前超扫描研究的一大局限性：

“尽管近 20 年来的实证研究对脑间同步性现象的认识逐步加深，但至少还存在以下两个方面问题。（1）不同研究者采用的 IBS 度量指标类别繁杂，缺乏统一性。不同度量指标的生理含义有所不同，与之关联的认知加工过程也可能存在较大差异。事实上，对于相同的数据，采用不同的指标可能导致不同甚至相反的结论。例如，两列信号的幅值相似，但在特定频率上的相位却相反。为了更准确地认识脑间同步现象，后续研究者需说明选择特定度量指标的依据，或者用不同的度量方法对结果进行重复验证。”（正文 383-389 行）

意见 2:

作者介绍的大量研究都是脑成像研究，是相关性证据，因此较难判断作者对相关研究的总结中，尤其是对 IBS 对行为影响的因果性作用推断，是否有足够的证据支持。相关性结果的产生可能是由于 IBS 影响了行为（动作协调、言语交流、亲社会行为等），也可能是由于行为影响了 IBS，也可能 IBS 是行为同步性的副产物。所以，建议作者在介绍以往研究时，更加清晰地介绍和总结以往研究使用的具体方法，更加明确地区分相关性证据和因果性证据。如果因果性证据较为缺乏，作者应针对这一点进行讨论和总结，而不是仅依据相关性证据，做出 IBS 影响行为的因果性作用结论。

回应:

感谢您的建议。在修改稿“IBS 的潜在功能”部分，我们对相关研究的方法和论证逻辑进行了更详细的介绍，并指出这些研究证据是相关性证据还是因果性证据。我们重点介绍了基于神经调控或神经反馈训练技术的实证研究。这些研究通过外部干预手段增强 IBS，进而观察到了相关行为的变化，因此被认为是能够证明“IBS 影响了行为”的因果性证据。

在新增加的 5.4 部分，我们对该问题进行了总结和讨论：

“通过神经调控或神经反馈方法改变个体间的 IBS 继而引起其随后的行为变化，这些结果为 IBS 的功能性意义提供了较强的证据支持。尽管这些研究证据驳斥了‘脑间同步性仅仅是行为的副产品’这一观点，但并不代表脑间同步性不受行为的影响。我们倾向于认为，IBS 与行为之间可能是互为因果的关系：脑间同步会促进动作协调、言语交流和社会联结的建立；而这些行为结果反过来又会促进这些行为的持续发展。后续研究需重点阐明 IBS 究

竟是通过什么样的机制对行为产生作用。我们认为 IBS 通过‘预测编码’机制促进人际动作协调，通过‘交互对齐’机制促进语言交流，通过‘奖赏反馈’促进亲社会行为这三种可能性值得进一步检验。此外，有许多研究者发现交互行为中 IBS 与行为表现存在显著正相关，而在社交互动和人际沟通能力上具有缺陷的个体则表现出异常的 IBS。尽管这些研究难以证明 IBS 与特定行为的因果关系，但说明 IBS 可作为有效沟通和社会互动的客观神经指标。基于此，未来研究可拓展 IBS 在人际关系评估、异常个体社会功能评估、测谎等方面的应用价值。”（正文 355-366 行）

意见 3:

作者在综述中提到了人际交互存在“一对一”和“一对多”不同类型，但没有具体介绍这两类不同的人际交互类型得到的结论的异同，其反映的认知加工过程是否相同，包括是否涉及了类似的脑区、同样的频段等。作者最终提出了“双脑”模型，这一模型对“一对多”的交互情境是否适用。“双脑”模型是否从模型的出发点就没有考虑“一对多”的情境？如果是这样，该模型对 IBS 的解释和预测就存在局限性，并不是一个全面完整的模型。

回应:

感谢您的指正。从认知和行为的角度分析，“一对一”和“一对多”确实在信息处理方式、行为反应、信息流动的动力学特征等方面存在明显的差异，因此其互动所依赖的脑机制很可能也存在关键差异。但我们通过调研文献，发现即使在“一对多”的实验范式中（例如，领导者-追随者），作者也是按照“一对一”的思路来分析数据。此外，据我们所知，尚无研究者在同一实验中对对比过“一对一”和“一对多”这两种交互类型的 IBS 差异。因此，由于现有实验证据的匮乏，我们未对“不同人际交互类型在认知与脑机制上的异同”这一重要问题作出结论。我们将该问题列入了“总结与展望”中后续研究可深入探索的问题：

“不同人际交互形式在认知与脑机制上的异同。基于交流的参与者数量和互动结构，人际交互形式可以分为‘一对一’、‘一对多’和‘多对多’三种形式。不同交互形式下，人们的信息处理方式、行为反应、信息流动的动力学特征等诸多方面都存在明显差异（Baron et al., 2003）。然而，当前的超扫描研究多数关注的是‘一对一’交流情境。即使在‘一对多’情境下（例如，师生互动），研究者也主要按照‘一对一’的思路来分析数据。后续研究者可以在社会认知模型的理论引导下，对比不同交流形式下个体脑内活动模式和个体间（或群体）神经同步性模式的异同，以及脑与行为的关联。研究结果将有助于揭示大脑如何在不同社交情境下动态、灵活地调节其活动模式。”（正文 432-439 行）

“双脑信息加工模型”确实还存在诸多缺陷。在修改版中，我们已经将该模型删除。对于其中对读者可能具有潜在启发性的观点，我们以讨论的形式将其放在了文中相关之处。（正文 281-294 行）（另见对专家 1 问题 6 的回复）

意见 4:

作者在图 2 中画出的模型框架图中强调了记忆系统的作用，以及这一模型对社会联结和奖赏系统的作用，但是在文献综述和模型提出的部分，文章内容都没有详细介绍记忆系统如何参与 IBS 的过程。建议作者进一步加强对记忆系统在人际交互和 IBS 中的作用的介绍和综述。

回应:

感谢您的指正。关于记忆系统如何参与 IBS 的过程，我们认为：经过注意系统的信息过滤后，个体基于自身的记忆系统对情境进行加工和表征。人际关系越紧密的个体，其过往的经历也越相似，对于任务情境形成的表征相似度也越高，因此相应的脑间活动也越同步。该观点是我们结合认知心理学知识所做出的推论，目前还没有实证研究证据的支持。故我们将该观点以讨论形式放到了“IBS 的影响因素”小结部分。（正文 288-291 行）

意见 5:

本文在研究综述和模型提出之间缺少对以往研究的总结和评述，因此很难评价作者提出的模型在多大程度上超越了以往的理论、模型、模型的创新性、全面性和可推广性，该模型是否适用于对该领域的主要研究结果进行解释和预测。建议作者在介绍以往研究时不要仅进行文献介绍，更应加入作者对该领域研究的评论和总结，以帮助读者更好地理解作者提出的模型。

回应:

感谢您的指正和建议。我们提出的模型的确过于粗浅，在诸多方面存在缺陷。在修改版中，我们已经将该模型删除。其中对读者可能具有潜在启发性的观点，我们将其以讨论的形式放在了文中相关之处。（正文 281-294 行）

对于“IBS 的产生机制”，“IBS 的影响因素”和“IBS 的潜在功能”这三部分内容，我们各自增加了一个小结部分（对应正文的 3.4, 4.5, 5.4）。在小结中，我们指出了现有研究的不足之处或尚待研究的重要问题，并提出了我们的观点和假设。

意见 6:

建议作者不要过于频繁地使用 what、when、how、why 这几个词，这几个词的频繁出现并不能帮助读者更好地理解文章。

回应：

感谢您的建议。我们已将本文中的相应英文词汇替换为对应的中文名词，其中“what”为 IBS 的度量方法，“how”为产生 IBS 的认知机制与神经基础，“when”为 IBS 的影响因素，“why”为 IBS 的功能意义。

再次感谢两位审稿专家提出的极具建设性意见和建议。这些意见和建议对本论文的修改和提高提供了极大的帮助！

附录：

不同研究使用的实验范式、IBS 度量指标和结果，以及与行为的关联：

第一类指标：被试间相关系数			
指标细项	实验范式	数据采集方式及关注的脑区位置、脑电频率范围	与行为的关联
交叉相关 (Cross Correlation, CC)	联合手指敲击任务	tACS: 左侧初级运动皮层, 2 Hz、10 Hz 和 20 Hz	参与者的大脑在相同的 β 波段上相位耦合, 可以增强他们的运动协调性 (Pan et al., 2020)
	语言交流任务	EEG: 颞叶和顶叶区域, 6-12 Hz (θ 、 α 波段)	IBS 与语言节奏协调和社交互动过程中的行为表现密切相关 (Kawasaki et al., 2013)
	自然对话的说服任务	fNIRS: 右侧额下回 (rIFC) 和右侧颞顶交界区 (rTPJ) 等区域的氧合血红蛋白 (HbO) 浓度变化。	当顾客的价值表征信号与销售人员的语言输入信号之间存在较高的同步性时, 顾客更有可能被说服购买产品 (Zhang et al., 2023)
	手势传递任务	EEG: 额叶、顶叶、枕叶, δ (0.5-4 Hz)、 θ (4-8 Hz)、 α (8-12 Hz)、 β (14-20 Hz)。	情感性和社会性手势时, 额叶区域的低频段 (如 δ 和 θ 频段) 的脑间同步性显著增强, 而在信息性手势下, 顶枕区的同步性更为显著 (Balconi & Fronza, 2021)
皮尔逊相关 (Pearson correlation)	语言交流任务	EEG: 额叶和枕顶叶区域, 关注低频成分 (低于 3 Hz)	沟通过程中, 听者的脑电活动如何随讲述者的故事内容发生特异性变化, 这种变化如何与听者的注意力和理解表现相对应 (Kuhlen et al., 2012)

	运动同步任务	fNIRS-EEG: 前额叶皮层, 如 δ 波 (0.5-3.5 Hz)、 θ 波 (4-7.5 Hz) 和 α 波 (8-12.5 Hz)。	与任务中的社交互动和行为表现密切相关 (Balconi & Angioletti, 2024)
	双人节奏同步任务	fNIRS: 涉及右侧前额叶皮层 (PFC)、内侧前额叶皮层 (mPFC)、运动皮层以及颞叶皮层的脑区。	更高的皮尔逊相关系数表明个体之间的脑活动更加同步, 与更好的任务表现 (更小的同步误差) 相关联 (Dai et al., 2018)
	乒乓球击球游戏	EEG: 涉及 θ (3-7 Hz)、 α (8-12 Hz)、 β (13-29 Hz) 和 γ (30-40 Hz) 频段	合作任务中参与者之间的脑间同步性显著高于竞争任务, 这在物理空间和虚拟空间中都得到了验证 (Sinha et al., 2016)
	教学任务	EEG: 前额中线, δ 波段 (1-4 Hz)、 θ 波段 (4-7 Hz)、 α 波段 (8-12 Hz)、 β 波段 (13-30 Hz) 和 γ 波段 (30-40 Hz)。	脑间注意力耦合度与其学业表现呈正相关, 即那些注意力动态与班级平均注意力动态更为相似的学生, 其学业成绩更好 (Chen et al., 2023)
斯皮尔曼相关 (Spearman correlation)	面对面交谈	EEG: 颞顶区, 特别是在 γ 频段 (30-60 Hz)	斯皮尔曼相关系数用于量化不同社会情境下的脑间神经同步性, 揭示了社会连接度和非语言行为在神经同步性中的重要作用 (Kinreich et al., 2017)
偏相关 (Partial correlation)	同步游戏任务	fNIRS: 额叶和前额叶区域	偏相关系数在这项研究中用于评估两个参与者在合作任务中的脑间连接, 揭示了合作过程中脑区间的动态关系以及这些关系对行为表现的影响 (Balconi et al., 2017)
第二类指标: 回归			
指标细项	实验范式	数据采集方式及关注的脑区位置、脑电频率范围	与行为的关联
一般线性模型 (General linear model, GLM)	共享反馈任务	fNIRS: TPJ 和 DLPFC	面对面交流时存在更多的信息交互, 相较于非交流环境, 在 TPJ 和 dlPFC 的 IBS 更强 (Cañigueral et al., 2021)
	欺骗游戏 (猜测卡牌点数高低)	fNIRS: 前侧和左侧喙 PFC	面对面的互动欺骗中 (仅当有欺骗意图), 告密者和猜测者在 PFC 的 IBS 强 (Pinti et al., 2021)

	听故事录音	fMRI: 听觉区、理解区 mPFC 和高阶语言区 DLPFC	说话者和听众间: 理解程度越好, IBS 越强 (存在信息有效的传递) (Stephens et al., 2010)
	计算机视觉回合制合作、独立博弈	fNIRS: rTPJ 和 rDLPFC	互动双方中一方抬起脸时, 面部信息交换, 与行为 (抬脸) 正相关比双方抬脸的更强 (排除了同步运动带来的影响) (Xu et al., 2023)
	联合注意任务	fMRI: rTPJ 和 mPFC	互动期间, 信息发送者到接收者的 rTPJ 间存在正向连接; 脑内 mPFC 和 rTPJ 的自我连接更负, (联合注意时出现相对去抑制) (Bilek et al., 2022)
第三类: 相干分析			
指标细项	实验范式	数据采集方式及关注的脑区位置、脑电频率范围	与行为的关联
总体相互依赖 (Total independence, TI)	教学任务	EEG: 枕叶、额叶和顶叶, 0.5 到 35 Hz。	并未发现 TI 与学生的知识保留 (测量为测验成绩) 之间有显著关联。这表明, 虽然社会动态影响脑间同步性, 但这种同步性并不直接预测学习表现 (Bevilacqua et al., 2019)
	教学任务	EEG: 前额 s 叶皮层区域, θ (4-8 Hz)、 α (8-13 Hz)、低 β (13-18 Hz) 和高 β (18-30 Hz) 频段。	TI 反映了学生在不同学科中的学习投入度和社交动态 (Chen et al., 2023)
小波变换相干性 (wavelet transform coherence, WTC)	合作与竞争纸牌任务	EEG: 前额叶和前扣带皮层	正相关 (Babiloni et al., 2007b)
	囚徒困境	EEG: 内侧前额叶皮层	正相关 (Babiloni et al., 2007)
	控制飞机模拟器	EEG: 顶叶部位中 α 带中 PSD 的抑制; 额叶中 θ 带中的同步	α 带 PSD: 负相关; θ 带: 正相关 (Astolf et al.2011a)
	竞争与合作	EEG: (左/双侧) 眶额皮质	正相关 (Astolf et al.2010b)
	合作纸牌游戏	EEG: 前扣带皮层和前额叶区	正相关 (Astolf et al.2010c)
	飞行任务	EEG: α 波段-额叶和顶叶区域	正相关 (Astolf et al.2012)
	合作与背叛	EEG: 全脑四个频带分析	正相关: 背叛低, 合作高 (Fallani et al., 2010)
	纸牌游戏	EEG: 前额叶和顶叶区域 - β 波段	正相关 (Babiloni et al., 2006)
	合作与竞争	fNIRS: 前额叶和顶叶	正相关 (Cui et al., 2012)

	模拟战争	EEG: 前额叶和中央顶叶 -9-12hz	正相关 (Dodel et al.,2011)
	碰杯	EEG: 注意系统 TPJ+前额叶	正相关 (Kourtis et al., 2014)
	合作	fNIRS: 背外侧前额叶 DLPFC+颞顶联合区 TPJ	正相关 (Li R. et al., 2021)
	竞争与防御	fNIRS: DLPFC+TPJ	正相关 (Xie et al., 2023)
	从众与劝服	fNIRS: 左侧颞上回-额上回和额上回-额下回	正相关 (Li Y. et al., 2023)
	最后通牒游戏	fNIRS: rTPJ-rDLPFC	正相关 (Tang et al., 2016)
	言语交际	fNIRS: 额下回 IFG	正相关 (Nozawa et al., 2016)
	师生互动学习歌曲	fNIRS: 额下回 IFG	正相关 (Pan et al., 2018)
	面对面交流	fNIRS: 左额叶下皮层	面对面比背对背/单向交流的 IBS 更强 (Jiang et al., 2012)
第四类：相位同步			
指标细项	实验范式	数据采集方式及关注的脑区位置、脑电频率范围	与行为的关联
相位同步性 (Phase synchrony)	相同运动输出/ 两人一组模仿 手部动作	EEG: 右侧中央顶叶- α - μ 带	行为同步性和轮对转换伴随着脑振荡耦合的证据 (Dumas et al.,2010)
	相同运动输出/ 弹吉他	EEG: 额叶和中央部位, 颞叶顶叶, θ 和 δ 频带	正相关 (Lindenberger et al., 2009)
	二重唱	EEG: 额叶和中央部位, θ 和 β 频带	正相关 (Sanger et al., 2012)
	吉他二重奏	EEG: 额叶中央部位顶叶, α 和 β 频率	领导者和追随者的音乐角色与不同的定向脑间耦合模式有关 (Sanger et al., 2013)
	根据领导者的 指尖方向来做 对应的动作	EEG: 额叶和中央顶叶, θ 和 β 相位同步	正相关 (Yun et al.2012)
	手指打节拍	EEG: 枕叶 α 和 μ 节律& 右中央顶叶 ϕ_1 和 ϕ_2	枕叶 α 和 μ 低, 与行为是否协调无关 (Tognoli et al., 2007)
	模仿面部表情	EEG: θ 频带	正相关 (Hari et al., 2010)
第五类：因果分析			

格兰杰因果关系 (Granger Causality, GC)	合作任务	EEG/fNIRS/fMRI: 前额叶皮层和顶叶区域	在合作任务中, 信息流动的方向性可能反映了个体在合作过程中的角色分配, 如领导者和跟随者之间的信息传递 (Czeszumski et al., 2020)
	面对面注视(自发的社会互动)	EEG: 右侧中央-后部区域(β 波段)和双侧枕叶区域(γ 波段)。	同步的社会行为不仅与IBS同步出现, 还可能在时间上领先于IBS, 尤其是微笑行为 (Koul et al., 2023)
部分定向相干 (Partial Directed Coherence, PDC)	成人对婴儿唱儿歌时的直接或间接目光注视	EEG: 中央区域, 即 C3 和 C4 电极, θ 频段 (3-6 Hz) 和 α 频段 (6-9 Hz)。	目光注视能增强了成人和婴儿之间的神经同步性 (Leong et al., 2017)
	成人与儿童合作解谜游戏	EEG: 前额叶区域, θ 频段 (4-7 Hz) 和 α 频段 (8-11 Hz)	当儿童进行解谜而成人观察时, 信息流动主要从儿童向成人, 而当成人进行解谜而儿童观察时, 信息流动主要从成人向儿童 (Li et al., 2021)
	社会参照任务	EEG: 前额叶、中央和顶叶在内的 16 个通道, α 频段 (6-9 Hz)	量化情绪表达对母婴神经网络拓扑结构的影响, 揭示了积极情绪有助于增强母婴之间的神经耦合和互动 (Santamaria et al., 2020)
相位传递熵 (Phase Transfer Entropy, PTE)	自由玩耍范式	fNIRS: 前额叶皮层(PFC)和顶叶颞叶交界, 0.05-0.2 Hz	反映母亲与孩子之间的信息流动 (Papoutselou et al., 2023)

第二轮

审稿人 1 意见:

作者认真修改了稿件, 达到了文章发表的要求。

审稿人 2 意见:

作者基本解决了我在第一轮审稿中提出的问题。

编委 1 意见: 同意发表。作者已解决审稿中提出的问题, 同意发表。

编委 2 意见: 作者已解决审稿中提出的问题, 同意发表。

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