

功能性近红外光谱成像(fNIRS)在人际合作中的研究

刘敬越

华北理工大学心理与精神卫生学院, 河北 唐山

收稿日期: 2025年2月17日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月21日

摘要

“人类合作行为如何演化?”这一问题被《Science》列为未来基础科学研究中亟待解决的25个重大问题之一。为了更好地理解人类合作行为,越来越多的研究致力于揭示合作背后的认知神经机制。功能性近红外光谱成像(fNIRS)凭借其高生态适应性、便捷性和非侵入性等优势,逐渐成为研究者的关注焦点。本文首先明确人际合作的定义,并介绍相关研究范式。其次,阐述fNIRS成像原理及其优势。最后,阐述fNIRS在人际合作领域的相关研究。

关键词

功能性近红外光谱成像, 人际合作, 研究范式

The Research of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) in Interpersonal Cooperation

Jingyue Liu

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

Received: Feb. 17th, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 21st, 2025

Abstract

“How has human cooperation behavior evolved?” This question has been listed by “Science” as one of the 25 major questions that need to be urgently addressed in future basic science research. In

order to better understand human cooperation behavior, more and more studies are devoted to revealing the cognitive neural mechanisms behind cooperation. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) has gradually become the focus of researchers' attention due to its high eco-adaptability, convenience and non-invasiveness. In this paper, we first clarify the definition of interpersonal cooperation and introduce relevant research paradigms. Second, it elaborates the principles, characteristics, and advantages of fNIRS imaging. Finally, it describes the related research of fNIRS in the field of interpersonal cooperation.

Keywords

Functional Near-Infrared Spectroscopy, Interpersonal Cooperation, Research Paradigm

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

随着社会的发展和科技的进步，人际合作行为逐渐成为科学研究的重要领域之一。理解个体间如何有效地沟通、协作并达成共同目标，对于提高团队效率、促进社会和谐具有重要意义。近年来，神经科学技术的发展为探究人际合作背后的认知与神经机制提供了新的视角。功能性近红外光谱成像(fNIRS)作为一种非侵入性脑功能成像技术，在这一领域中展现出独特的优势。

2. 人际合作

2.1. 人际合作概念

人际合作的普遍性和多样性特征，使其成为多学科研究的热点，如人类学、心理学和经济学等领域均对其进行了深入研究。不同学科视角下，合作行为的定义有所差异。例如，基于行为结果的视角，人际合作指任何能为他人带来益处的行为(Nowak, 2006)。这一定义强调行为结果带来的共同利益，即当个体与他人的利益发生冲突时，个体自愿放弃自身利益最大化的行为可被视为合作。另一方面，从行为过程的角度看，人际合作被看作为有意识的协作行为，体现为个体间有意识的协调与配合(Cheng et al., 2015)。综合考虑人际互动的结果与过程，人际合作被定义为与他人协同行动以实现更优的共同表现或获取更大共同利益(Fehr & Fischbacher, 2003)。这一定义包含两层核心含义：其一，合作的目的是提升共同表现或实现共同利益，是一种双赢或多赢的结果，而非单纯的个体利益追求；其二，合作过程强调了他人参与的重要性，合作行为并非由个体独立完成，而是需要多个个体的共同协作。

2.2. 人际合作的社会重要性

人际合作在社会发展和增强凝聚力方面具有极为重要的作用。从社会发展的角度来看，人际合作是推动社会进步与繁荣的关键动力，是人类生存和发展的基石(Nowak, 2006)。通过合作，社会成员能够互相依赖、共同进步，维系社会秩序并促进社会的持续发展。此外，在增强凝聚力方面，人际合作通过建立信任、促进沟通和培养团队合作精神，显著提升了团队或群体的凝聚力。研究表明，人际合作能够增强团队成员之间的情感联系，提升团队的向心力(Li et al., 2022)。明确的共同目标、良好的沟通机制以及关注成员个人发展等措施，都是通过人际合作实现团队凝聚力提升的有效途径(Cheng et al., 2015)。

2.3. 人际合作范式

2.3.1. 按键范式(Button Game)

按键范式作为目前探究人际合作一种经典的实验设计，能够有效模拟个体之间的实时互动与协调过程(Cui et al., 2012)。通过精确测量被试的反应时间(RT)以及对反馈的调整，能够有效考察被试之间的人际合作能力。具体为，整个任务共包含 3 个 block，每个 block 包含 15 个试次。每个试次开始时，被试的电脑屏幕中央会随机出现一个空心灰圈，持续时间在 0.6 到 1.5 秒之间。随后，被试被要求在绿色信号出现时同时按下一个键，以取代灰色圆圈。具体来说，被试 A (在左侧)被指示按下“0”键，而被试 B (在右侧)则被指示按下“1”键。每次试次设定了两个阈值以确定获胜点(Pan et al., 2017)。两个阈值的计算方法如下 $T1 = (RT1 + RT2)/18$ ， $T2 = (RT1 + RT2)/8$ ，其中 RT1 和 RT2 代表两位被试的 RT。每个二人组的具体得分如下：(i) 如果差异小于第一个阈值(即 $|RT1 - RT2| < T1$)，则两名被试均得 5 分；(ii) 如果差异大于第一个阈值但小于第二个阈值(即 $T1 < |RT1 - RT2| < T2$)，则两名被试均得 3 分；(iii) 如果差异大于第二个阈值(即 $|RT1 - RT2| > T2$)，则两名被试均失 3 分。在两名被试做出回答后，反馈屏幕会显示 3 秒钟，显示当前试次的结果(“优秀!”、“获胜!”或“失败!”)以及被试取得的累计分数。反馈屏幕还显示了被试的反应速度，绿色的“+”和白色的“-”分别代表较快和较慢的反应。通过这些信息，被试可以调整自己的反应速度，以获得更高的分数。反馈结束后，屏幕会显示 1.5 秒的空白，作为试次间隔。见图 1。

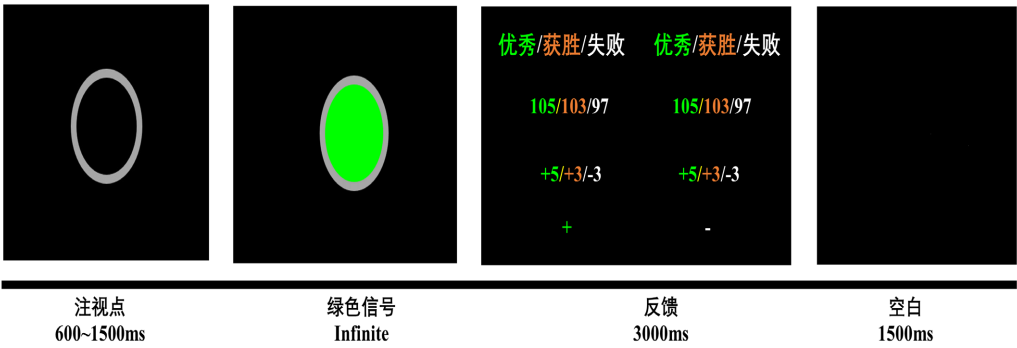


Figure 1. Button task process
图 1. 按键范式流程

2.3.2. 囚徒困境范式(Prisoner's Dilemma Game)

囚徒困境范式是一种经典的博弈论模型，用于研究个体在合作与背叛之间的决策冲突(Lee, 2019)。该范式的核心情境是：两名被试被置于一个无法直接沟通的环境中，各自面临一个选择——是选择“合作”还是“背叛”。根据双方的选择组合，会产生不同的收益或惩罚结果。在经典的囚徒困境中，收益矩阵通常设计为：如果双方都选择合作，他们将获得相对较小的惩罚(例如各服刑 1 年)；如果一方背叛而另一方合作，则背叛者获得最大收益(如获释)，而合作方遭受最大损失(如服刑 10 年)；如果双方都选择背叛，他们将共同承受较大的惩罚(如各服刑 6 年)。这种设计反映了个体在追求自身利益最大化时可能面临的困境：尽管合作对双方总体更有利，但由于缺乏信任和沟通，个体往往倾向于选择背叛。在实验中，被试随机组成双人小组，分配相同数量的代币作为实验货币，通过多次博弈来模拟现实生活中的人际合作与背叛行为。

2.3.3. 公共物品博弈范式(Public Goods Game)

在公共物品博弈中，每位被试被赋予一定数量的初始资源，并自主决定将其中的任意比例(包括零或全部)投入公共账户。随后，公共账户中的资源总量将按照预设的倍数进行增值，并平均分配给所有被试。

个体投入公共账户的资源量被用作衡量其合作行为的关键指标：投入资源越多，表明该个体的合作倾向越明显(De Cremer & Van Vugt, 1999)。

3. fNIRS 技术

3.1. fNIRS 技术的理论依据

当大脑的某个区域处于活跃状态时，该区域的神经元活动显著增强，进而导致局部血流量和耗氧量的增加。为了满足这种能量需求，大脑的局部血管系统会相应地进行调节，以增加血流供应，为活跃的神经元提供更多的氧气和营养物质(Duan et al., 2013)。由于氧合血红蛋白(HbO)和脱氧血红蛋白(HbR)在可见光及近红外光波段具有不同的吸收系数，因此可以通过监测这两种血红蛋白的浓度变化，间接反映大脑局部区域的神经活动情况。此外，近红外光能够穿透人体的头皮和颅骨等组织，到达大脑皮层，并在此过程中被不同的生物分子选择性吸收。氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白是这一波段内最主要的吸光物质，它们具有独特的吸收光谱(Cui et al., 2010)。通过使用特定波长的近红外光照射头部，并检测反射光的强度变化，可以计算出大脑皮层区域中这两种血红蛋白的相对浓度变化，进而推断出该区域的血液动力学反应及其背后的神经活动状态。

3.2. fNIRS 技术的基本原理

fNIRS 基于近红外光在脑组织中的扩散性，能够实现对局部脑组织代谢过程中氧气依赖性变化的无创、连续测量。通过精准捕捉血液中血红蛋白的氧化状态，可有效量化血氧浓度(BOLD)的动态变化(Scholkmann et al., 2014)。神经元活动与血氧变化之间存在着紧密的联系。当局部脑区被激活时，神经元代谢活动显著增强，氧需求随之上升，这一过程被称为神经代谢耦合。与功能性磁共振成像(fMRI)不同，fMRI 主要通过监测血液磁化中与氧合状态相关的信号变化来推断 BOLD 信号的波动，而 fNIRS 则通过检测特定近红外光波长(600~900 nm)在脑组织中的变化，进而实现对氧血红蛋白与脱氧血红蛋白水平的监测。在这一过程中，探针发射的近红外光沿特定的香蕉状路径穿透并扩散至脑组织内部。值得注意的是，fNIRS 对神经元活动的监测属于间接测量，其血液动力学反应的峰值通常延迟约 5 至 10 秒(Ferrari & Quaresima, 2012)。

3.3. fNIRS 信号的特征

fNIRS 信号可细分为 HbO 与 HbR 两种主要成分。依据修正比尔-朗伯定律(Beer-Lambert Law)，HbO 与 HbR 的浓度变化可通过特定近红外光波长的吸收衰减情况来反映。一般认为，HbO 与 HbR 应呈负相关关系，即 HbR 浓度上升时，HbO 浓度下降，反之亦然。研究表明，HbR 与神经血管耦合密切相关，其在空间定位上具有更高的精确性，并且受到非神经元来源信号干扰的程度相对较低。因此，HbR 被认为比 HbO 更能准确地代表大脑激活区域(Kirilina et al., 2012)。另一方面，HbO 浓度变化通常具有更大的振幅，并且涉及更广泛的脑区。因此研究人员认为 HbO 浓度是区域脑血流变化的最敏感生理指标(Hoshi, 2007)。fNIRS 评估大脑活动的另一潜在指标是总血红蛋白(HbT)。HbT 是 HbO 与 HbR 变化的总和，主要由 HbO 变化主导。研究表明，HbT 对静脉污染的敏感性较低，因此它可能比单独的 HbO 与 HbR 浓度具有更好的空间特异性(Gagnon et al., 2012)。

3.4. fNIRS 技术的优势

3.4.1. 高时间分辨率

fNIRS 具有较高的时间分辨率(约 10~100 Hz)，这使其能够更精细地捕捉脑血流动力学的快速变化。这种高时间分辨率不仅为研究 BOLD 信号的上升和下降动态提供了有力支持，还使其成为实时神经反馈

和脑-机接口研究的理想选择(Duan et al., 2013)。尽管 fNIRS 测量的 BOLD 反应仍存在一定的延迟(通常在 5~8 秒内达到峰值),但其高时间分辨率允许机器学习算法以更小的延迟检测信号,从而提高信号处理的效率(Cui et al., 2010)。

3.4.2. 自然条件下的适用性

fNIRS 技术能够在自然条件下测量皮层血流动力学,这使其能够应用于多种现实场景。例如面对面交流(Jiang et al., 2012)、人际合作(Cui et al., 2012)。与 fMRI 或脑电图(EEG)等对运动敏感的技术相比, fNIRS 对身体运动的耐受性更好。在传统的实验室环境中,被试的行为往往受到限制,与日常生活存在差异。而 fNIRS 设备便携,能够在不受限制的环境中使用,从而更接近真实的生活场景(Quaresima & Ferrari, 2019)。此外, fNIRS 技术的便携性和高生态性使其成为研究人际合作的理想设备。例如,基于 fNIRS 的超扫描技术已被广泛应用于社会互动研究中,通过同时监测多个被试的脑活动,研究者能够探索互动中的神经同步和协调机制。

3.4.3. 多模态成像能力

fNIRS 技术易于与其他多种技术结合使用,形成多模态成像系统。例如, fNIRS 可以与脑电图、经颅直流电刺激、fMRI 等联合使用。这种多模态成像能力使得 fNIRS 能够同时收集与神经血管耦合相关的高时间、空间和频率信息,为综合研究脑功能提供强大的工具支持。

3.4.4. 成本效益

fNIRS 技术的设备成本相对较低,以及运行 fNIRS 研究的总体成本较低,包括研究被试的费用,数据处理费用和研究设施费用。与 fMRI 相比, fNIRS 能够直接测量氧血红蛋白(HbO)和脱氧血红蛋白(HbR)的浓度变化,而 fMRI 的血氧水平依赖(BOLD)信号则是基于这两种血红蛋白浓度的相对变化。这使得 fNIRS 能够更深入地研究 HbO 和 HbR 浓度之间的动态关系,从而为揭示脑血流动力学的内在机制提供了独特视角。

4. fNIRS 在人际合作的研究

在人际合作领域,过去三十年间社会神经科学领域涌现了大量文献(Cacioppo et al., 2000; Schurz et al., 2021)。然而,这些研究大多依赖于单脑研究方法,即在被试观看电脑屏幕上呈现的刺激时,通过 EEG 或 fMRI 记录其神经激活情况。传统社会神经科学研究的一个显著局限在于,被试并未直接参与真实的社会互动。为了克服这一局限,研究人员逐渐转向真正的社会第二人称神经科学方法(Schilbach et al., 2013; Redcay & Schilbach, 2019)。在第二人称神经科学中,神经过程是在实时互惠性社交互动的背景下进行研究的。相关证据表明,只有在“真正的”社交互动中,才能观察到特定的神经特征,从而证实了第二人称神经科学方法的附加价值(Tognoli et al., 2007)。鉴于 fNIRS 设备的便携性和高生态性,研究人员开始尝试使用超扫描技术来探究人际合作过程中的神经活动。具体而言,在个体进行合作时,通过 fNIRS 同时评估两个或多个大脑的活动。由此产生的脑间活动通常以互动大脑功能活动的同步性为特征。这种技术的应用为深入理解人际合作的神经机制提供了新的视角和方法。

使用经典的按键范式,Cui 等人首次利用 fNIRS 超扫描技术探究人际合作相比于竞争的脑区神经同步性差异(Cui et al., 2012)。此后,众多研究者基于此范式,进一步探讨了影响人际合作行为的多种因素。在有关性别的研究中,两项研究采用按键范式,比较了同性别二人组与混合性别二人组在合作任务中的神经活动模式。在一项 fNIRS 研究中,Cheng 等人研究在合作任务(与竞争和非合作任务相比)中,脑间同步是否会受到伴侣性别的调节。结果发现,混合性别二人组(即女性-男性组合)的前额叶皮层表现出显著增强的脑间同步性,而同性二人组(即女性-女性和男性-男性组合)未观察到类似增强。此外,这种脑间

同步性与行为合作表现呈显著正相关(Cheng et al., 2015)。另一项 fNIRS 研究则表明, 与混合性别二人组相比, 同性二人组在合作任务中总体上诱导了更高的脑间同步性, 其中女性-女性组合的右侧颞叶皮层和男性-男性组合的右侧下前额叶皮层表现出显著的同步性增强(Baker et al., 2016)。Pan 等人进一步探索了亲密关系对合作行为的影响, 发现情侣二人组在合作任务中的合作率显著高于朋友和陌生人组合, 并且情侣二人组在右侧上额叶皮层表现出更高的脑间同步性。通过格兰杰因果分析, 研究还发现情侣间神经活动的方向性表现为女性到男性的脑间同步性比男性到女性更强(Pan et al., 2017)。此外, 研究还关注了共同经历对国际合作的影响。例如, Wang 等人发现, 共同经历疼痛的二人组在后续合作任务中表现出更高的合作倾向, 并伴随额叶和顶叶皮层脑间同步性的增加(Wang et al., 2019)。另一项研究则表明, 共同经历积极情绪(如高兴)能够提高合作过程中的协调性, 并伴随额下回脑间同步性的显著增强(Li et al., 2022)。综合上述研究, 额叶和颞顶联合区的脑间同步性在国际合作过程中表现出显著的增强, 这些发现进一步支持了相互预测理论在理解合作行为神经机制中的关键作用。

近来, 超扫描已经超越了脑成像技术的范畴, 开拓性的研究采用了脑刺激方法(如经颅刺激、感觉刺激、光遗传学), 从基于相关性的方法转变为注重因果关系的方法, 即通过操纵大脑活动来观察其对社会互动的影响(Novembre & Iannetti, 2021)。传统的超扫描研究通常将人际神经同步性作为双人组社会互动的因变量进行测量。虽然这种方法能得出有趣而有价值的结果, 但它本身并不能确定人际神经同步性仅仅是被试暴露在相同环境和相同刺激下的表象, 还是在促进社会交流中起着因果作用。因此, Lu 等人(2023)的研究采用经颅交流电刺激(tACS)技术, 结合 fNIRS 为理解国际合作中脑间同步性与行为协同性的因果关系提供了有力证据。该研究通过同时对参与按键任务的二人组施加交流电刺激, 以同步提高被试的前额叶皮层和右侧额下回的神经兴奋性。结果显示, 相比于干预前的试次, 施加电刺激的试次以及干预结束后的试次中, 二人组的前额叶皮层脑间同步性显著提高, 且合作率也显著增强, 而未进行交流电刺激的对照组差异不显著。

5. 结论

fNIRS 技术在国际合作研究中展现了巨大的潜力。其便携性和高生态性使其能够应用于自然条件下的社会互动场景, 而多模态成像能力则为综合研究脑功能提供了强大的工具支持。未来的研究可以进一步探索脑刺激技术与 fNIRS 结合的潜力, 以揭示更多关于国际合作的神经机制。

基金项目

河北省教育厅研究生创新资助项目(CXZZSS2024058)。

参考文献

- Baker, J. M., Liu, N., Cui, X., Vrticka, P., Saggat, M., Hosseini, S. M. H., et al. (2016). Sex Differences in Neural and Behavioral Signatures of Cooperation Revealed by fNIRS Hyperscanning. *Scientific Reports*, 6, Article No. 26492. <https://doi.org/10.1038/srep26492>
- Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., Sheridan, J. F., & McClintock, M. K. (2000). Multilevel Integrative Analyses of Human Behavior: Social Neuroscience and the Complementing Nature of Social and Biological Approaches. *Psychological Bulletin*, 126, 829-843. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.6.829>
- Cheng, X., Li, X., & Hu, Y. (2015). Synchronous Brain Activity during Cooperative Exchange Depends on Gender of Partner: A fNIRS-Based Hyperscanning Study. *Human Brain Mapping*, 36, 2039-2048. <https://doi.org/10.1002/hbm.22754>
- Cui, X., Bray, S., & Reiss, A. L. (2010). Speeded Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Response Detection. *PLOS ONE*, 5, e15474. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015474>
- 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>

- De Cremer, D., & Van Vugt, M. (1999). Social Identification Effects in Social Dilemmas: A Transformation of Motives. *European Journal of Social Psychology*, 29, 871-893. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-0992\(199911\)29:7<871::aid-ejsp962>3.0.co;2-i](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-0992(199911)29:7<871::aid-ejsp962>3.0.co;2-i)
- 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>
- Fehr, E., & Fischbacher, U. (2003). The Nature of Human Altruism. *Nature*, 425, 785-791. <https://doi.org/10.1038/nature02043>
- 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>
- Gagnon, M., Desmartis, M., Labrecque, M., Car, J., Pagliari, C., Pluye, P., et al. (2012). Systematic Review of Factors Influencing the Adoption of Information and Communication Technologies by Healthcare Professionals. *Journal of Medical Systems*, 36, 241-277. <https://doi.org/10.1007/s10916-010-9473-4>
- Hoshi, Y. (2007). Functional Near-Infrared Spectroscopy: Current Status and Future Prospects. *Journal of Biomedical Optics*, 12, Article 062106. <https://doi.org/10.1117/1.2804911>
- 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>
- Kirilina, E., Jelzow, A., Heine, A., Niessing, M., Wabnitz, H., Brühl, R., et al. (2012). The Physiological Origin of Task-Evoked Systemic Artefacts in Functional Near Infrared Spectroscopy. *NeuroImage*, 61, 70-81. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.02.074>
- Lee, J. (2019). A Study on Resolving Prisoner's Dilemma Using Incentives and Penalties. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 42, 39-48. <https://doi.org/10.11627/jkise.2019.42.4.039>
- Li, Y., Chen, M., Zhang, R., & Li, X. (2022). Experiencing Happiness Together Facilitates Dyadic Coordination through the Enhanced Interpersonal Neural Synchronization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 17, 447-460. <https://doi.org/10.1093/scan/nsab114>
- Lu, H., Wang, X., Zhang, Y., Huang, P., Xing, C., Zhang, M., et al. (2023). Increased Interbrain Synchronization and Neural Efficiency of the Frontal Cortex to Enhance Human Coordinative Behavior: A Combined Hyper-tES and fNIRS Study. *NeuroImage*, 282, Article 120385. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120385>
- Novembre, G., & Iannetti, G. D. (2021). Hyperscanning Alone Cannot Prove Causality. Multibrain Stimulation Can. *Trends in Cognitive Sciences*, 25, 96-99. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.11.003>
- Nowak, M. A. (2006). Five Rules for the Evolution of Cooperation. *Science*, 314, 1560-1563. <https://doi.org/10.1126/science.1133755>
- Pan, Y., Cheng, X., Zhang, Z., Li, X., & Hu, Y. (2017). Cooperation in Lovers: An fNIRS-Based Hyperscanning Study. *Human Brain Mapping*, 38, 831-841. <https://doi.org/10.1002/hbm.23421>
- Quaresima, V., & Ferrari, M. (2019). Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) for Assessing Cerebral Cortex Function during Human Behavior in Natural/social Situations: A Concise Review. *Organizational Research Methods*, 22, 46-68. <https://doi.org/10.1177/1094428116658959>
- Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using Second-Person Neuroscience to Elucidate the Mechanisms of Social Interaction. *Nature Reviews Neuroscience*, 20, 495-505. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0179-4>
- Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., et al. (2013). Toward a Second-Person Neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 36, 393-414. <https://doi.org/10.1017/s0140525x12000660>
- Scholkman, 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>
- Schurz, M., Radua, J., Tholen, M. G., Maliske, L., Margulies, D. S., Mars, R. B., et al. (2021). Toward a Hierarchical Model of Social Cognition: A Neuroimaging Meta-Analysis and Integrative Review of Empathy and Theory of Mind. *Psychological Bulletin*, 147, 293-327. <https://doi.org/10.1037/bul0000303>
- Tognoli, E., Lagarde, J., DeGuzman, G. C., & Kelso, J. A. S. (2007). The Phi Complex as a Neuromarker of Human Social Coordination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 8190-8195. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611453104>
- Wang, C., Zhang, T., Shan, Z., Liu, J., Yuan, D. and Li, X. (2019) Dynamic Interpersonal Neural Synchronization Underlying Pain-Induced Cooperation in Females. *Human Brain Mapping*, 40, 3222-3232. <https://doi.org/10.1002/hbm.24592>