

## 近红外超扫描在社会互动研究中的运用

李宇涵

广西师范大学, 桂林

**摘要** | 社交互动对塑造个体的日常认知与行为规范至关重要, 并有助于共同目标的达成。近红外光谱 (fNIRS) 超扫描技术因其允许在自然社交互动中同步记录多人脑活动, 并具备良好的生态效度、便携性及对运动干扰相对不敏感等独特优势, 已成为研究社会互动脑间神经机制的关键工具。该技术通过量化人际脑间同步 (Interbrain synchronization, IBS), 已广泛应用于社会认知、合作与竞争、母婴互动、教育教学以及临床障碍评估与干预等多个领域, 深刻揭示了从日常沟通到协同任务等诸多互动行为背后大脑活动的同步性与耦合规律, 推动了社会神经科学研究从“单脑”向“多脑”范式的转变, 展现出重要的理论价值与应用潜力。

**关键词** | 近红外; 超扫描; 社会互动

Copyright © 2026 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



### 1 引言

人类社会在个体、家庭、社群乃至国家等不同层面, 皆由复杂而精密的社会互动所塑造与维系。这些互动形式多样, 涵盖模仿、交换、协作与共同决策等, 其核心在于思想与情感的传递。人类主要通过两种基本方式进行交流: 一是凭借复杂的语言系统, 这是我们区别于其他生物的关键特征 (Adolphs, 2003); 二是借助手势、表情等非语言线索, 它们为互动提供了重要的辅助信息。这些互动不仅构成了文明发展的基石, 也深刻塑造着我们的认知模式与人格。从进化视角看, 人类卓越的社会性与其相对发达的新皮层紧密关联。因此, 揭示社会互动背后的机制, 具有深远的理论与应用价值。随着神经成像技术的兴起, 研究者可以从更科学的角度探索人类的脑神经机制, 为揭示诸多心理现象提供重要的

依据。它既关乎对“人类何以成为人类”这一根本问题的理解, 也为改善自闭症等社交障碍群体的生活质量提供了科学依据。

然而, 传统神经影像研究在探索这一领域时面临两大根本局限。首先, 生态效度严重不足。多数实验在封闭环境中进行, 依赖程序指导配合被试完成孤立任务, 这剥离了真实互动中至关重要的自然情境 (如面对面交谈、同步动作与通过表情、手势、言语节奏即时反馈), 使得互动过程高度结构化且缺乏自然性, 导致研究情境与现实生活脱节。其次, 研究范式存在固有缺陷, 主要体现为研究对象的单一性。社会互动本质上是涉及两个或以上个体间同步的行为与认知交换, 实现多人大脑实时、动态耦合的过程, 但传统方法仅能采集单一个体在孤立状态下的脑活动数据 (Montague et al., 2002)。这种“单脑”范式无法捕捉互动中多个大脑信

基金项目: 广西研究生教育创新计划项目(XYCS2025073)。

作者简介: 李宇涵, 广西师范大学教育学部, 研究方向: 心理学。

文章引用: 李宇涵. (2026). 近红外超扫描在社会互动研究中的运用. *中国心理学前沿*, 8(2), 159-163.

<https://doi.org/10.35534/pc.0802025>

号间的交织与协同,犹如只聆听单一乐器而试图理解整个乐队的合奏。因此,采用能够同步记录多人脑活动、并支持自然交互的研究范式与技术,已成为推动该领域突破的关键。

一些新兴研究正在试图解决上述的缺陷,弥补人一机研究的弊端,以探究两人及以上的真实社会互动。例如,使用两台功能性磁共振成像(fMRI)同时测量两个被试的大脑同步活动(Montague et al., 2002)。此技术被称为超扫描(Hyperscanning)。同步活动振荡是一种物理现象,在多个主体之间被发现在人类互动合作活动中起着关键作用。脑间同步(Interbrain Synchronization, IBS)被定义为在进行人类互动活动(如合作)时,大脑区域的同步振荡,从而导致共同的行为或目的(Yang et al., 2020)。然而,IBS的机制仍不清楚,即IBS与行为合作表现之间的因果关系尚未得到广泛讨论。为进一步探究基于IBS的社会互动机制,超扫描已经成功开发并运用于经济决策活动、合作、竞争、教育教学等领域,以揭示社会互动的脑机制。

迄今为止,超扫描通过多种神经影像技术实现了社交互动的检查,如脑电图(EEG)、功能性近红外光谱(fNIRS)和功能性磁共振成像(fMRI)。然而各项技术由于其自身成像原理和设备制造运转都有其优缺点:fMRI因其非侵入性、空间分辨率高可观察脑区,以及深部核团的活动变化,具有较高的空间分辨率,但与此同时也有对运动敏感、时间分辨率较低的特点。对于超扫描研究,fMRI无法为社会互动提供真实世界的环境:参与者必须躺在一动不动的位置;不鼓励说话开口交流;扫描仪噪音很大,而且经常在情感上令人生畏,增加了互动上的障碍。除了这些限制之外,MRI仪器的维护成本也很高;EEG时间分辨率高,可非侵入性可观察到神经元同步活动,同时造价较为低廉,且轻便能携带,使得在更自然的环境中研究社会互动成为可能。但其空间分辨率较低、容易受到噪声干扰、只能观察到大脑表面活动,无法精确定位神经电信号的来源(Michel et al., 2004),也不能满足自然条件下移动过程中互动场景的采集。

另一方面近红外光谱(fNIRS)超扫描技术凭借其多重优势,已成为研究自然情境下多人脑交互的重要工具(Rolfe, 2000)。其设备购置与维护成本相对较低,兼具良好的便携性与操作简便性,支持在实验室外灵活开展研究。该技术对头部运动不敏感,允许被试在互动中进行自然的言语与肢体交流,从而实现了较高的生态效度。同时,fNIRS具有较高的时间采样率,可同步获取大脑皮层中氧合血红蛋白与脱氧血红蛋白的浓度变化,提供较为全面的血氧动力学信息。在适用性方面,其无创、安静、低侵入的特点尤其适合儿童、老年人及临床人群的研究。此外,该技术易于与脑电图、眼动仪等多类设备同步联用,支持多模态数据采集。尤为重要的

是,超扫描范式与fNIRS的结合,推动了“脑间同步”等新兴神经指标的发展,为揭示社会互动中多脑系统的动态协调机制提供了关键方法学支撑,现如今已成为超扫描研究领域中的热点研究工具。

## 2 fNIRS 超扫描研究应用领域

### 2.1 合作与竞争

合作与竞赛任务,参与者需要通过合作或竞争方式实现目标。合作是指通过与他人互动,从而达到共同目的。竞争是指个体在群体活动中试图压倒对方、战胜对方的心理需求和行为活动。在竞争中,个体在维护自身利益的同时,与他人形成目标上的相互制衡关系。超扫描研究中使用的代表范式为合作与竞争按键反应任务,其包含三种条件:合作条件、竞争条件和控制条件。在合作状态下,两名参与者在看到蓝色圆圈后必须尽快按下按钮。如果他们的响应时间差小于阈值,双方都能获得奖励,随后屏幕会出现反馈信息告知2名被试反应快慢,以供被试调整按键时间,以便获得高分。然而,如果差额大于阈值,他们就什么都得不到。在竞争状态下,看到蓝色圆圈后,反应更快的获胜者获胜。在对照条件下,一名参与者对蓝色圆圈反应,另一名只是观察。这一范式最早于2012年提出(Cui, 2012),后来被用于研究同性与混合性别组之间的大脑一致性差异、恋人和陌生人的组。此外,还制定了其他范式设计,用于检查参与合作与竞争的脑际同步。大部分学者表明:在合作活动中,被试双方往往会在额叶区域出现较为显著的脑间一致性,但会受到参与者身份的影响,如情侣、亲子还是同性。而在竞争条件下的同步性增强还有诸多争议。

### 2.2 协调联合

两名或更多参与者需要尽力以同步的方式行动。日常生活中的行为同步是协调社交行为的一个机制。例如,当一起走路时,尽管脚长和内在周期完全不同,脚步可能无意识地同步。此外,协调/关节动作也可以同步,比如有节奏的手指动作。特别是,已有多项脑电图或fNIRS超扫描研究研究协调/关节运动中的神经同步。一个例子展示了,指示双人通过心中有节奏地计数来同步。还有研究考察了社会环境(如威胁或催产素)如何影响协调动作,结果显示催产素能增强脑际同步,促进社会协调(Mu et al., 2016)。

### 2.3 模仿

模仿是观察他人行为的同时,做出类似动作的行为能力。模仿已被证明在婴儿发育和社会认知等方面发挥着至关重要的作用。在日常生活中,模仿是我们学习知识、与他人进行社会互动和交流的重要基础,不仅可以促进我们对信息的理解和行为的习得,也可以更好地了

解世界。实验一般指示一名参与者模拟另一人的行为。例如，在一项脑电超扫描研究中，参与者被指示模仿对方无意义的手部动作。结果显示，右侧中心顶叶区域在 $\alpha-\mu$ 波段的脑间同步与相互作用同步高度相关（Dumas et al., 2010）。此外还有面部模仿任务，结果显示在模仿的过程中增强了右顶下小叶的脑间同步。此区域主要属于镜像神经元系统，镜像神经元系统在其余模仿范式中也出现同步增强，进一步支撑了以往镜像神经元系统对于模仿起关键作用的结论。

#### 2.4 眼神交流接触

眼神接触是人类非语言交流的重要渠道，超扫描的诞生，使得研究者可以深入探讨眼神接触的脑神经机制。双人组被指示互相看对方的眼睛，或看向第三个对象。在非语言交流中，可以通过眼神交流或相互凝视建立普遍认可的社交联系或管道，也能通过眼神交流推断对方的意图，为通过超扫描神经成像技术建模人际交流的神经机制提供了极好机会。例如，有一项研究指示一对互相看眼睛（Hirsch et al., 2017）。他们发现，与眼凝视画面的间接接触相比，两人相互凝视左侧上颞回、中颞回和边缘上回以及前和辅助运动皮层的脑间相干性显著提升。此外，也有研究表明眼神接触还受到距离、角度等因素的调节。

#### 2.5 自然条件互动

相比之下，只有通过自然场景进行的社交互动才能反映我们日常生活中的真实情境，这也是沟通和思想交流的主流方式。一测试指示两名参与者被进行面对面与背对背的不同对话情境，与此同时记录神经数据。有趣的是，他们的发现显示，面对面交谈的脑间同步性显著高于背对背情境下的脑间同步性。此外，大量研究还探讨了其他情况下的神经同步，如音乐播放时、一起唱歌、玩游戏或上课的大脑活动（Dikker et al., 2017）。例如，一项研究显示，在课堂上学生与老师的脑间同步性显著高于其他条件下的脑间同步性，并且此同步性还能正向预测教学质量。

#### 2.6 经济决策与博弈

经济游戏/交换任务，其中一方提出经济报价，而另一方需要决定是否接受。博弈论可以提供丰富的行为任务和模型，旨在阐明决策者之间必须互动的社会互动。相比之下，交换是最基本的社会互动类型，涉及一种社会过程，通过交换社会行为以换取某种同等或更高的价值奖励。博弈论/交换的一个实例是信任博弈，其中一名参与者需要决定应退还多少钱给对手，一项超扫描研究表明，扣带旁皮层在建立可信关系中起着关键作用。此外，囚徒困境博弈也被用作超扫描设计的任务。这要求两位参与者同时做出自己的决定。囚徒困境博弈通常包含三种实验条件：双赢、输、以牙还牙。此外，最后通牒游戏也应用于超扫描范式设计，其中一方参与者需决

定是否接受对手的报价。然而，由于范式之间存在设计差异，关于决策类任务所引发的同步性脑区存在不一致的结果。

### 3 社会互动神经机制

目前，社会互动的神经基础主要为两类。其中之一是MNS，包括初级运动皮层和后顶叶皮层。第二种是MS，由颞顶叶交界（TPJ）、前叶和前额叶皮层（PFC）组成。

#### 3.1 MNS

当我们模仿甚至只是看到对方的动作时，镜像神经元会被激活。这一现象在猴子和人类大脑中均有发现（Lacoboni & Dapretto, 2006）。在人脑中，MNS由下颞回（IFG）和下顶叶（IPL）组成，后者与语言、运动和感觉检测相关。此外，上颞回（STG）在仿制中也起着关键作用，可以提供额外的视觉信息输入，其中仿制动作的编码信息首先通过STG转化为更复杂的视觉表征，然后传递给IPL。一旦IPL激活，潜在动作就可以执行。此外，IFG还被激活以控制潜在动作，可以提供额外的补充信息，如动作的目标等。目前与模仿相关的超扫描研究显示，参与者调动并增强了MNS的脑间同步性。

#### 3.2 MS

除了模仿他人的行为外，心智化理论为超扫描研究提供了重要的社会认知神经科学基础，我们还可以通过他们的手势、行为和面部表情来理解他们的意图或情感，这种“心智解读”过程是成功互动与相互理解的核心机制，这被称为心智化理论（Frith & Frith, 2006）。其神经基础主要涉及TPJ和PFC，以及背侧PFC（DMPFC），这些脑区在理解他人心理状态时表现出特异性激活（Saxe, 2006）。

在超扫描范式下，心智化理论被进一步拓展为“互动性心智化”框架：社会互动并非单向的心理状态推断，而是互动双方通过实时信号交换不断调整彼此心理模型的双向过程。这一过程需要双方大脑在时间与神经响应上形成动态协调，即脑间同步。fNIRS超扫描技术通过同步记录互动双方前额叶等关键脑区的血氧信号，能够直接测量这种脑间神经耦合，从而将心智化从“个体内”的认知过程转化为“个体间”的神经对话指标。

因此，心智化理论不仅为超扫描研究提供了核心问题——我们如何在神经层面实现“心意相通”，也为解释脑间同步的功能意义提供了理论框架：脑间同步程度可能反映互动双方心智化过程的匹配与协同水平，进而预测互动质量与社会联结的强度。

### 4 总结与展望

fNIRS超扫描技术以其高生态效度、良好的运动耐受

性、较低的设备与使用成本,以及对儿童与临床人群的良好适用性等优势,已成为研究自然情境下多人社会互动神经机制的重要工具。该技术已在合作与竞争、联合协调、模仿、眼神接触、自然对话及经济决策等多个社会互动领域中取得丰富成果,初步揭示了以镜像神经元系统(MNS)与社会脑网络(MS,如前额叶与颞顶联合区)为核心的脑间同步模式,为社会认知的“互动性心智化”理论提供了直接的神经证据。

然而,当前研究仍存在若干局限与挑战,未来研究可在以下方向深化拓展。

#### (1) 技术方法与分析范式的局限

尽管fNIRS在自然互动研究中优势明显,但其空间分辨率有限,难以精准定位深部脑区活动;信号易受头皮血流等生理噪声干扰,对脑间同步的分析多依赖于相关性等指标,在揭示神经耦合的方向性与动态机制方面尚有不足。未来需进一步开发信号去噪与源重建算法,并结合图论、动态因果模型等分析方法,更精细地刻画脑间互动网络的信息流向与层级结构。

#### (2) 因果推断能力的缺乏

fNIRS超扫描研究多揭示脑间同步与社会行为的相关关系,难以确立其因果作用。未来研究可结合经颅磁刺激(TMS)、经颅电刺激(tES)等神经调控技术,在互动过程中对特定脑区进行选择性干预,考察脑间同步的变化是否直接导致合作效率、共情水平等行为结果的变化,从而在因果层面验证脑间同步的功能意义。

#### (3) 研究场景与人群的拓展

目前研究多集中于实验室情境下的双人互动,未来应进一步向更复杂的多人互动、真实教育环境、远程协作及临床干预场景拓展。同时,应加强对不同文化背景、发展水平(如婴幼儿与老年人)及临床群体(如自闭症、社交焦虑障碍)的脑间同步研究,推动成果向应用转化。

#### (4) 多模态融合与理论整合

结合眼动、生理记录、行为视频等多模态数据,可更全面地解析社会互动的多通道协调机制。在理论上,需进一步整合心智化、具身认知、互动协调等框架,构建能够解释不同互动形式下脑间同步产生机制与调节因素的理论模型。

总之,fNIRS超扫描技术为社会神经科学提供了从“单脑”到“多脑”研究的关键窗口。通过不断克服现有技术限制、引入因果研究范式、拓展应用场景并深化理论建构,该领域有望在未来更深刻地揭示人类“心意相通”的神经本质,并为促进社会沟通、优化教育实践

与临床康复提供科学依据。

## 参考文献

- [1] Adolphs R. (2003). Cognitive neuroscience of human social behaviour. *Nat. Rev. Neurosci.* (4), 165–178.
- [2] Cui X, Bryant D M & Reiss A L. (2012). fNIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *Neuroimage*, (59), 2430–2437.
- [3] Dikker S, Wan L, Davidesco I, Kaggen L, Oostrik M, McClintock J, Rowland J...& Ding M. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr Biol*, (27), 1375–1380.
- [4] Dumas G, Nadel J, Soussignan R, Martinerie J & Garnero L. (2010). Inter-brain synchronization during social interaction. *PLoS One*, (5).
- [5] Frith C D & Frith U. (2006). The neural basis of mentalizing. *Neuron*, (50), 531–534.
- [6] Hirsch J, Zhang X, Noah J A & Ono Y. (2017). Frontal temporal and parietal systems synchronize within and across brains during live eye-to-eye contact. *Neuroimage*, (157), 314–330.
- [7] Iacoboni M & Dapretto M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nat Rev Neurosci*, (7), 942–951.
- [8] Michel C M, Murray M M, Lantz G, Gonzalez S, Spinelli L & Grave de Peralta R. (2004). EEG source imaging. *Clin. Neurophysiol*, (115), 2195–2222.
- [9] Montague P R, Berns G S, Cohen J D, McClure S M, Pagnoni G, Dhamala M, Wiest M C, Karpov I & Apple N. (2002). Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage*, (16), 1159–1164.
- [10] Mu Y, Guo C & Han S. (2016). Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults. *Soc Cogn Affect Neurosci*, (11), 1882–1193.
- [11] Rolfe P. (2000). In vivo near-infrared spectroscopy. *Annu Rev Biomed. Eng.* (2), 715–754.
- [12] Saxe R. (2006). Uniquely human social cognition. *Curr Opin Neurobiol*, (16), 235–239.
- [13] Yang J, Zhang H, Ni J, De Dreu C K W & Ma Y. (2020). Within-group synchronization in the prefrontal cortex associates with intergroup conflict. *Nat. Neurosci*, (23), 754–760.

## Application of Near-infrared Hyperscanning in Social Interaction Research

Li Yuhan

*Guangxi Normal University, Guilin*

**Abstract:** Social interaction is essential for shaping individuals' daily cognition and behavioral norms, and facilitates the achievement of common goals. Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) hyperscanning technology has emerged as a key tool for studying the inter-brain neural mechanisms underlying social interaction, owing to its unique advantages such as enabling synchronous recording of multi-person brain activity during natural social interactions, high ecological validity, portability, and relative insensitivity to motion artifacts. By quantifying interbrain synchronization (IBS), this technique has been widely applied across various fields, including social cognition, cooperation and competition, parent-infant interaction, education and teaching, as well as clinical assessment and intervention for disorders. It has profoundly revealed the synchronization and coupling patterns of brain activity behind numerous interactive behaviors, ranging from daily communication to collaborative tasks, thereby advancing social neuroscience research from a "single-brain" to a "multi-brain" paradigm and demonstrating significant theoretical value and application potential.

**Key words:** Near-infrared; Hyperscanning; Social interaction