

多人交互同步记录技术在大脑神经活动测量中的应用*

张文莉¹ 唐红红² 刘超² 买晓琴¹

(1 中国人民大学心理学系, 北京 100872) (2 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875)

摘要 多人交互同步记录是一种新技术, 可以实现同时对多人的脑活动进行测量, 现已被越来越多地应用到社会交互的研究中。本文从不同技术角度出发, 回顾已经发表的有关多人交互同步记录的研究, 从中可以了解不同的脑活动记录技术是如何被应用到各种实验范式中, 以及人脑间是如何动态交互的。同时本文也对不同的多人交互同步记录技术的优缺点进行了比较。鉴于该方法的优势, 其在未来的社会交互研究中具有广泛的应用前景。

关键词 多人交互同步记录, 社会交互, 脑活动记录仪器。

分类号 B841.1

人与人之间的社会交互被认为是社会认知的核心特征。研究人脑在社会交互过程中如何动态活动, 不仅可以深入了解我们的社会本质, 而且可以帮助改善一些人的社会生活质量, 比如自闭症儿童。近十年来, 脑成像技术取得了快速的发展, 比如功能性磁共振成像 (*functional magnetic resonance imaging*, fMRI) 和高时间分辨率脑电 (*High-resolution electroencephalography*, HR-EEG), 这些技术能够测量大脑活动的血流量或神经电信号, 从而被广泛地应用到社会交互的研究中, 为更深入地分析记忆、决策以及其他认知活动的神经机制提供了条件。然而, 以前的实验任务大多是孤立地测量其中一个被试的行为和神经活动, 因此当多名被试进行合作、竞争或交流时, 他们之间的真实互动过程并不能被直接测量到。为了更好地考察个体间进行合作、竞争等社会性行为时的神经机制, 对不同被试间的大脑交流过程进行直接观察是十分有必要的。研究者们已经开始使用一种新的方法, 对社会交互任务中的不同被试进行同时的、多人的记录, 从而直接扫描到被试交流时的神经活动过程, 这个新的方法称为多人交互同步记录 (*hyperscanning*) (Montague et al., 2002), 采用的仪器包括脑电仪、功能性核磁共振仪以及近红外光学成像仪 (*Near-infrared spectroscopy*, NIRS)。

1 不同仪器的多人交互同步记录

收稿日期: 2015-1-1

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (31400888)、中国人民大学科学研究基金 (中央高校基本科研业务费专项资金) 项目 (15XNLQ05)。

通讯作者: 买晓琴, E-mail: maixq@ruc.edu.cn。

1.1 多 EEG 同步记录

所有已经发表的多 EEG 同步记录的研究, 使用的都是一个实验室的多台 EEG 设备。由于多台 EEG 记录相同的刺激信号, 记录数据时所用的采样率也相同, 并且所有的仪器都经过校准, 从而可以解决不同 EEG 系统的敏感性不同这个问题。而且 EEG 设备相对轻便, 价格又相对便宜, 所以多 EEG 交互同步记录更容易实现。图 1 是多 EEG 同步记录设备。

1.2 多 fMRI 同步记录

多 fMRI 同步记录的一个主要问题是在同一个实验室, 很难获得多个磁共振仪器。而且不同仪器间的某些特性 (例如局部梯度强度、头线圈的灵敏度、磁场强度等) 不同, 都有可能会产生较大的相互影响 (Montague et al., 2002)。图 2 是第一篇发表的多 fMRI 同步记录研究中使用的装置。

由于 fMRI 仪器比较昂贵, 为了节约成本, 使实验更为高效, Lee, Dai 和 Jones (2012) 提出了一个多 fMRI 仪器的设想, 他们采用一个新颖的双卷头线圈, 使得一个 fMRI 设备同时收集两个大脑信号的设想变成现实, 这极大地推动了 fMRI 研究技术的进步。图 3 是使用一个 fMRI 同时记录两人脑活动的仪器。

1.3 多 NIRS 同步记录

近红外技术作为脑成像技术已被应用到不同的研究领域, 例如, 测量血氧水平依赖 (*Blood oxygen-level dependent*, BOLD) 反应 (Emir, Ozturk,

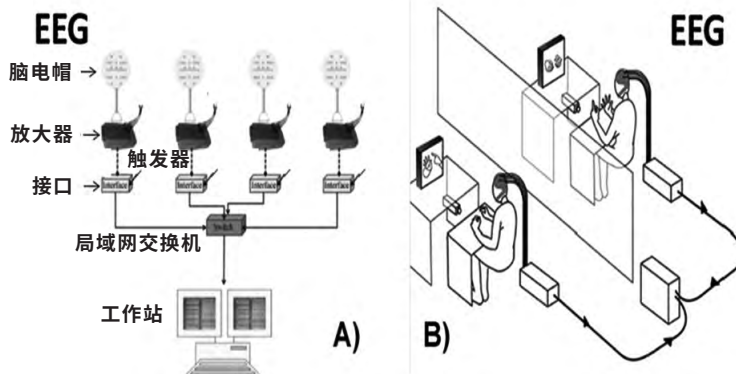


图1 多 EEG 同步记录设备。

(A) 多 EEG 设备结构图, 可以同时收集四名被试的脑电数据 (Babiloni et al., 2011); (B) 是使用两个 EEG 设备对两人脑电数据进行同步记录 (Dumas, Nadel, Soussignan, Martinerie, & Garnero, 2010)。

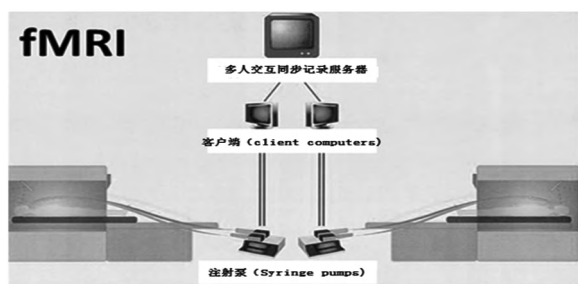


图2 多 fMRI 同步记录设备结构图 (Montague et al., 2002)。

fMRI 客户端计算机控制刺激的呈现, 将橘汁通过注射泵送到被试的嘴巴里, 客户端之间信息的交流和传递则由多人交互同步记录服务器控制。

从而一个仪器就可以实现同步化。图4就是单一仪器下的多 NIRS 同步记录。



图4 多 NIRS 同步记录设备 (Cui et al., 2012)。

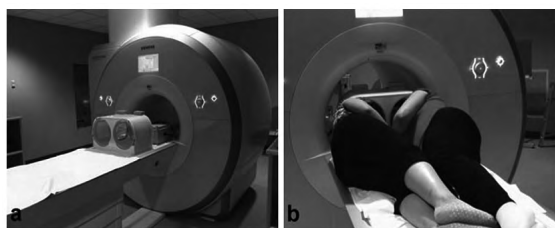


图3 多 fMRI 同步记录的新仪器 (Lee et al., 2012)。

(A) 双卷头线圈; (B) 开始同步记录前的准备。

& Akin, 2008; Huppert, Allen, Diamond, & Boas, 2009)、人机接口 (Sitaram et al., 2007), 以及对静息状态的分析 (Lu et al., 2010; White et al., 2009; Zhang et al., 2010) 等。已经发表的文章中实现多 NIRS 同步性的方法和多 EEG 同步记录很相似 (Funane et al., 2011), 但是设备间的不同敏感度需要一个校准的过程。最近的研究提出一个解决方法, 把一个 NIRS 设备分为两部分, 同时对两个被试进行记录 (Cui, Bryant, & Reiss, 2012),

2 多人交互同步记录的研究成果

多人交互同步记录技术主要应用于社会交互的研究, 根据所用的测量技术各自的特点, 可以从不同的角度去解释社会互动中人们的行为和大脑活动。如 EEG 主要从脑电波变化的一致性, fMRI 主要从大脑活动血流量的相关性和一致性, NIRS 主要从大脑含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白变化的一致性出发, 解释多人交互中的大脑活动一致性和行为表现的关系以及其对行为预测的意义和作用。现在该技术被广泛应用于与博弈论、运动及情绪相关的社会交互研究中。

2.1 与博弈论有关的社会交互

2.1.1 简单欺骗游戏和信任游戏

研究者们最早使用多 fMRI 交互同步记录技术研究与博弈论有关的社会交互。Montague 等 (2002) 使用多 fMRI 同步记录对两被试在简单欺骗游戏中的脑活动进行探究, 结果表明, “欺骗者

(sender)”和“被欺骗者(receiver)”的前运动区均出现激活。这是第一个使用多fMRI同步记录的研究。

King-Casas等(2005)对信任游戏(Trust Game)进行了研究,通过对尾状核活动的分析发现被信任者的返还钱数可以很好地预测下一轮的投资。而且经过游戏的前几个回合,知道投资结果的被试其“信任意图”更加明显。Tomlin等(2006)研究如果在实验前两玩家见过面,这是否会引起信任游戏实验结果的不同,并对两玩家的脑活动进行同时测量。结果发现当被试看到自己的决策时会引起中部扣带回区域的最大激活(自我-特定反应),但当被试们看搭档的分配结果时会引起前扣带回和后扣带回的最大激活,而且实验前见过面和未见面这两组被试均展现了相同的激活模式,主要定位在扣带回,这说明扣带回的激活和被试们之前的社会交流无关。有假设认为如果这个实验的被试是一组和正常人区别很大的人(比如孤独症),这个游戏会得出不同的脑活动结果。

为检验这样一个现象,Chiu等(2008)使用多fMRI同步记录对信任游戏范式进行了研究。实验中有两组被试,一组是患有自闭症障碍的病人,另一组是正常的控制组。结果表明,在多轮的信任游戏中,之前研究发现的高自我-特定反应并没有在高功能自闭症男性的扣带回中发现(Tomlin et al., 2006)。但是当给自闭症患者看搭档的决策时,其扣带回反应和正常人一致,说明他们的自我反应并没有完全消失。这表明,在多轮信任博弈游戏中,虽然自闭症患者表现自己行为意图的能力受损,但是仍能表征他人行为。也就是说,尽管不能表现自己的意图,但是表征他人简单行为的能力仍然存在。

因此,使用多fMRI同步记录技术对博弈范式下被试间的交流进行研究,可以帮助我们更好的了解自闭症患者交流的本质,为进一步改善他们的交流状况提供脑依据。

2.1.2 囚徒困境

一些研究者使用多EEG同步记录囚徒困境范式中的脑活动,以研究决策的神经机制(Astolfi et al., 2010b; Astolfi et al., 2009; Babiloni et al., 2007; De Vico Fallani et al., 2010)。研究结果发现与静息状态相比,在不同的任务阶段,背外侧、前额和眶额的头皮区记录的脑电更加活跃。尤其指出的是,四种条件(纯合作,纯损失,一报还一

报,或混合行为)中,纯损失条件下被试的皮层活动要显著高于其他条件。通过局部定向一致性估计脑间的互动过程发现,所有被试的前额头皮区在合作条件下有更显著的联结,但在损失条件下几乎没有联系。Astolfi等(2010a)用高分辨率多EEG同步记录对26对被试的脑电活动进行研究,采用的是囚徒困境的变式——斗鸡博弈。相对于囚徒困境,该游戏在双方共同背叛时会产生更严厉的惩罚。对功率谱的分析发现,与合作条件相比,损失条件和一报还一报条件下的被试在 θ 频带会产生更显著的皮层活动。

2.1.3 公共物品博弈和最后通牒博弈游戏

Chung, Yun和Jeong(2008)使用多EEG同步记录被试进行公共物品博弈时的脑电活动,结果表明在做出决策前,合作者的前额头皮区脑电活动增强,这个结果和之前囚徒困境中观察到的前额头皮区的活动相吻合。Yun, Yun和Jeong(2010)使用最后通牒博弈范式,发现额中央头皮区高频率带的脑电活动增强,而且分配者和接受者的脑间联结也增多。

总之,与博弈论有关的多EEG同步记录的研究得出了相对一致的结果,不管是囚徒困境、公共物品博弈还是最后通牒任务,被试的前额叶区都得到激活。这说明,前额叶区是参与多人决策的一个非常重要的脑区。

2.2 与运动有关的社会交互

2.2.1 手部运动的同步交流

Tognoli, Lagarde, DeGuzman和Kelso(2007)最早使用多EEG同步记录对手部运动进行研究,实验中两个被试在看到或没有看到彼此时做有节奏的手指运动的时候同步记录他们的脑电活动,结果发现当被试可以看到彼此的时候,他们可以相互协调他们的行为。更有趣的是,研究者们发现了一对位于右上中央顶皮层的振荡成分(ϕ_1 和 ϕ_2),这对成分可以区分有效和无效的协调:独立行为的时候 ϕ_1 增加,而协调行为的时候 ϕ_2 增加。此外, μ 成分和理解及协调运动有关,因此在调节社会交互中起着重要的作用。

Naeem, Prasad, Watson和Kelso(2012)通过操纵不同任务来看是否会产生 μ 波的同步变化,对两被试的脑电活动进行同时记录。首先被试在看不到对方手部运动的情况下以自己感到舒服的频率随意进行手指运动,然后在看得到对方手部运动的情况下做三种手指运动任务:(1)保持自己的频

率运动(忽略对方的), (2) 和对方同步运动, (3) 保持手指运动与对方有 180° 的相位差。结果发现协调程度会影响 10–12 Hz 的 μ 波活动, 尤其是在右脑的中顶叶。这种右侧化机制似乎和整合双方的共同信息有关, 从而保证社会交互的动态性。

Dumas 等 (2010, 2011) 使用多 EEG 对某一时间段内被试的手势互动以及相关的脑活动进行同步记录, 发现脑电波幅的同步性和两大脑互动过程中右中顶叶头皮区出现的 α 波 (7–12 Hz) 有关。以上关于手指运动的多 EEG 同步记录的研究共同揭示了右中顶叶区主要负责识别和编码他人动作, 它的激活使人们更好地实现和他人行为的同步。

2.2.2 按键反应时被试的时间同步性

近年来, 多 NIRS 技术取得飞速发展, 越来越多的研究者开始使用多 NIRS 同步记录技术对按键反应进行研究。Funane 等 (2011) 要求被试们听到声音线索后, 在心中默数十秒做出按键反应, 每个反应后都会出现反馈信息, 被试们要根据反馈调整自己的反应时间, 以尽可能和同伴同时做出反应。研究表明, 两被试大脑的同步激活情况和他们在合作任务中的表现有关, 当两被试前额叶皮层的激活在时间和空间上的同步性增加时, 他们按键的时间间隔会更短。

Cui 等 (2012) 使用多 NIRS 同步收集双人合作和竞争游戏中的大脑活动, 测验了两种情境下的结果, 一种情境是只有两被试按键的反应时差值小于阈值时才能获得得分, 否则两人都输分, 即要求他们合作, 另一种是要求被试尽可能快的做出按键反应, 快的被试得分, 慢的输分, 即要求他们竞争。结果表明: 在合作任务中, 被试们右额叶皮质的 NIRS 信号的联结增多, 而且联结越多, 合作表现越好, 但在竞争任务中没有出现这种联结。

Cui 等 (2012) 的结论告诉我们双人合作时, 他们的脑区活动是同步的, 但是这种神经同步性是否和搭档的性别有关呢? 为验证这个猜测, Cheng, Li 和 Hu (2015) 使用多 fNIRS 同步记录对两人 (女–女, 女–男, 男–男) 合作时的脑区同步性进行研究。结果发现: 在合作行为上, 男–男之间的合作 > 女–男之间的合作 > 女–女之间的合作; 在脑活动上, 当和不同性别的搭档 (女–男) 进行合作时, 前额区 (额极皮层、眶额叶皮层、左背外侧前额叶皮层等) 会出现显著的和任务相关的脑间一致性, 然而性别相同的搭档间没有发现该一致性。这说明性别相同和性别不同的搭档在合作时, 他们的神经活动是不

同的。

当三个及以上人进行交流时, 领导是如何产生的呢? 这其中的神经机制是怎么样的呢。Jiang 等 (2015) 招募了 11 个三人组进行无领导小组讨论, 同时使用多 fNIRS 记录他们讨论时的脑活动, 以此来研究脑间的神经同步性是否会对领导的出现产生作用, 以及神经同步性和领导的出现是否和沟通的频率或者质量有关。结果发现, 领导者–追随者在左侧颞顶联合区 (ITPJ) 上的神经同步性明显高于追随者–追随者。而且, 如果是领导者发起的沟通过程, 那么其领导者–追随者的神经同步性会显著高于由追随者发起的沟通, 这种神经同步性主要和领导者的沟通技巧和能力有关, 而不是沟通频率。因此得出, 领导之所以出现是因为他们在正确的时间沟通的让人信服。

2.2.3 模仿过程中两大脑间的联结

之前已有研究对人类的模仿行为进行探究, 但是由于技术的限制, 大多数研究都只是对模仿者进行观察 (Arbib, Billard, Iacoboni, & Oztog, 2000; Iacoboni, 2006; Molenberghs, Cunnington, & Mattingley, 2009)。Holper, Scholkmann 和 Wolf (2012) 使用多 NIRS 同时对模仿者及被模仿者之间的互动进行记录。两被试面对面做, 用右手进行按键反应。在模仿条件下, 被模仿者随意用五个手指中的任一个按键, 模仿者要求尽可能快地用同样的手指按键。控制条件下, 各自按键即可, 不需要观察对方的按键情况。为了控制手指按键顺序以及两被试按键时间不同步的影响, 这两个任务后又增加了两个相应的任务, 与模仿条件相对应的任务中, 被试要按照事先规定的手指运动顺序进行按键, 比如拇指、食指、小指、中指、无名指, 与控制条件对应的任务中, 两者的手指运动顺序被事先规定为相同的。实验中同时对两被试前运动皮层 (*premotor cortices*, PMC) 的活动进行记录, 结果发现: (1) 和控制条件相比, 模仿条件下模仿者和被模仿者的脑活动有更大的一致性; (2) 模仿条件下, 与固定按键手指顺序相比, 被试自发的按键会引起一致性的增大。研究者进一步使用格兰杰 (Granger) 因果分析方法对脑间的功能性联结进行估计, 结果发现: (3) 与控制条件相比, 模仿条件下的 Granger 因果关系更大, 即模仿条件下被模仿者的脑激活程度可以更好地预测模仿者的脑活动; (4) 模仿条件下, 对固定手指按键顺序和不固定按键顺序时被试的反应进行分析, 发现不固定顺序时被模

仿者的手指运动信号会在更大程度上增加 Granger 因果关系。

2.3 与情绪有关的社会交互

2.3.1 眼神接触

眼神接触被认为是被试间交流的一个重要标志,能够传递重要的情绪信息。当一个被试随着另一个被试的眼神看向同一物体时,共同注意就产生了 (Materna, Dicke, & Thier, 2008)。Saito 等 (2010) 的研究中,屏幕上半部分是对方的眼睛,下半部分是两个彩色球,对方眼睛注视的球或颜色出现变化的球是实验中的目标球。实验任务是让被试看向目标球的方向,或与目标球相反的方向,对执行共同注意任务的两被试进行同时记录。结果发现如果目标球是对方眼睛注视的球,即双方进行分享性的、有目的的眼神交流时,两被试的右额下回 (*inferior frontal gyrus*, IFG) 都得到明显激活。正是这种交流,使双方能完成那些具有共同目标的合作性活动,如看向同一个物体。

2.3.2 面部表情传递情绪

多被试进行同一任务时,他们之间会形成一种“特定”的感觉,仅依据简单的面部表情,就可以很快地感受到对方情绪的变化。Anders, Heinzle, Weiskopf, Ethofer 和 Haynes (2011) 对被试间情绪状态的传递进行研究。实验中使用多 fMRI 对 6 对恋人被试进行记录,同时也对皮肤电进行测量。结果表明,和基线相比,被试们的皮肤电水平有明显的增加,情绪的传递使双方的唤醒水平都获得提高。同时在参与传递和编码面部表情的所有脑区中,发现“接受者 (*receiver*)”脑网络的分布及神经活动水平可以很好地由“发送者 (*sender*)”的来预测,这个网络中涉及的区域被定位在前颞叶、岛叶及躯体运动区,之前已有研究者证明这些脑区和情绪、情绪体验有关 (Hennenlotter et al., 2005; van der Gaag, Minderaa, & Keyers, 2007)。而且,在“发送者”向“接受者”传递情感信息时,两者的大脑活动是有时序的,“接受者”脑中的信息要显著迟于“发送者”的。随着实验的进行,这种延迟会逐渐减少,反映出“接受者”可能会根据“发送者”做出“调整”。

2.3.3 面对面交流过程中的神经同步性

人类在进化过程中早已适应了面对面的交流,但是现在其他的交流方式,比如电话、邮件等越来越多地占据了我们的生活。Jiang 等 (2012) 使用多 NIRS 同步记录的方法研究面对面交流及其他交

流方式的神经活动特点。结果发现面对面对话时,两被试的左下额叶皮层神经的同步性激活增加,但在背对背对话、面对面独白及背对背独白条件下没有发现这种同步性。而且,面对面对话中被试间神经的同步性主要来源于他们间的直接交流,包括多通道感觉信息及轮流对话等。这个研究说明,面对面对话,尤其是对话,具有其他交流方式所没有的特性,而且被试间的神经同步性使得这种面对面对话顺利进行。

3 研究展望

3.1 多人交互同步记录技术的特点

多人交互同步记录的“独特”贡献在于可以对社会互动中的多名被试的脑活动进行同时测量,来探究被试间的脑活动是如何同步交流的。

由于 EEG 技术的非损伤性、高时间分辨率以及费用相对低等优势,其被广泛应用到社会交互的研究中,但是 EEG 的一个不足就是空间分辨率比较低,这也是多 EEG 同步记录技术的不足。而且现有的多 EEG 同步记录的研究大都针对脑电频率,几乎没有对事件相关的脑电研究,因此在后续的研究中,可以对特定事件下多被试间大脑活动的同步性进行研究。综合以上的研究可以看出,目前多 EEG 同步记录技术已经被广泛应用于情绪、运动及各种博弈范式的研究中,并检测到相应的脑区激活,从而说明多名被试进行社会交流时,确实存在着脑活动的同步性。

fMRI 可以很好地弥补 EEG 的不足。与多 EEG 同步记录相比,多核磁同步记录的空间分辨率比较高,可以定位到具体的脑结构,从而确定与特定任务相关的脑区,但是其局限性在于时间分辨率较低,很难区分两大脑活动的先后顺序,而且费用相对较高。此外,由于核磁条件下被试只能躺在里面,限制了被试的活动,降低了生态效度。一直以来多 fMRI 同步记录技术主要被用来研究博弈论,近年来也越来越多地被应用在与运动、情绪及社会比较有关的研究中。其涉及的情绪实验及博弈范式和多 EEG 同步记录采用的也有区别,从而更加补充证明了社会交互过程中脑活动的同步性。

NIRS 技术具有可以同时弥补 EEG 低空间分辨率和 fMRI 低时间分辨率的特点。与核磁和脑电相比,多 NIRS 同步记录技术既不会因为距离远而产生信号干扰,也不会有运动方面的限制 (允许被试坐着或站着),而且相对容易使用,生态效度较高,

较为经济。因此, 基于其对运动和环境的低限制, 能够用于面对面、真实情境的研究中, 可以在人们的真实互动中考察大脑活动的变化和行为变化的关系。同时也能够使用神经反馈 (neurofeedback) 对运动康复、自闭症等进行实时监测和辅助治疗, 具有很大的应用前景。但是其不足之处在于只能记录头皮表层的脑信号, 无法对大脑深层次的结构进行定位。目前多 NIRS 同步记录的研究多集中在运动 (如模仿、按键反应)、面对面交流等领域, 涉及的任务也相对比较简单, 但是缺乏对博弈范式、以及表情等复杂任务的研究, 这也是今后多人交互同步记录的一个研究方向。

3.2 多人交互同步记录研究可能的应用

目前看来, 研究者们主要运用多人交互同步记录技术对正常人的社会认知 (运动、博弈论、表情、面对面交流等) 过程进行研究。从长远看, 可以将多人交互同步记录技术应用到特定疾病患者社会互动的研究中。许多脑疾病都会影响社会交流, 包括抑郁症、自闭症及精神分裂症等, 研究社会互动的神经机制, 可以帮助我们更好地了解这些疾病。未来的研究可以运用多人交互同步记录技术, 让患者完成一些简单的实验任务, 从而比较正常人的皮层活动与病人的区别。这一新的研究领域将会成为研究人类疾病的重要工具。

参 考 文 献

- Anders, S., Heinze, J., Weiskopf, N., Ethofer, T., & Haynes, J. D. (2011). Flow of affective information between communicating brains. *Neuroimage*, 54 (1), 439–446.
- Arbib, M. A., Billard, A., Iacoboni, M., & Oztup, E. (2000). Synthetic brain imaging: grasping mirror neurons and imitation. *Neural Networks*, 13, 975–997.
- Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., De Vico Fallani, F., Salinari, S., Vecchiato, G., ..., & Babiloni, F. (2010b). Simultaneous estimation of cortical activity during social interactions by using EEG hyperscannings. Conference Proceedings–IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2814–2817.
- Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., De Vico Fallani, F., Salinari, S., Marciani, M. G., Wilke, C., ..., & Babiloni, F. (2009). Estimation of the cortical activity from simultaneous multi-subject recordings during the prisoner's dilemma. Conference Proceedings–IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1937–1939.
- Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., De Vico Fallani, F., Salinari, S., Vecchiato, G., Toppi, J., Wilke, C., ..., & Babiloni, F. (2010a). Imaging the social brain: multi-subjects EEG recordings during the Chicken's game. Conference Proceedings –IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1734–1737.
- Babiloni, C., Vecchio, F., Infarinato, F., Buffo, P., Marzano, N., Spada, D., ..., & Perani, D. (2011). Simultaneous recording of electroencephalo-graphic data in musicians playing in ensemble. *Cortex*, 47 (9), 1082–1090.
- Babiloni, F., Cincotti, F., Mattia, D., De Vico Fallani, F., Tocci, A., Bianchi, L., ..., & Astolfi, L. (2007). High resolution EEG hyperscanning during a card game. Conference Proceedings–IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4957–4960.
- Cheng, X., Li, X., Hu, Y. (2015). Synchronous brain activity during cooperative exchange depends on gender of partner: A fNIRS-based hyperscanning study. *Hum Brain Mapping*, 36 (6), 2039–2048.
- Chiu, P. H., Kayali, M. A., Kishida, K. T., Tomlin, D., Klinger, L. G., Klinger, M. R., & Montague, P. R. (2008). Self responses along cingulate cortex reveal quantitative neural phenotype for high-functioning autism. *Neuron*, 57 (3), 463–473.
- Chung, D., Yun, K., & Jeong, J. (2008). Neural mechanisms of free-riding and cooperation in a public goods game: an EEG hyperscanning study. In: International Conference of Cognitive Science, Seoul, Korea.
- Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *Neuroimage*, 59 (3), 2430–2437.
- De Vico Fallani, F., Nicosia, V., Sinatra, R., Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., ..., & Babiloni, F. (2010). Defecting or not defecting: how to read human behavior during cooperative games by EEG measurements. *PLoS ONE*, 5 (12), 14187.
- Dumas, G. (2011). Towards a two-body neuroscience. *Communicative & Integrative Biology*, 4 (3), 349–352.
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). Inter-brain synchronization during social interaction. *PLoS ONE* 5 (8), e12166.
- Emir, U. E., Ozturk, C., & Akin, A. (2008). Multimodal investigation of fMRI and fNIRS derived breath hold BOLD signals with an expanded balloon model. *Physiological Measurement*, 29 (1), 49–63.
- Funane, T., Kiguchi, M., Atsumori, H., Sato, H., Kubota, K., & Koizumi, H. (2011). Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 16 (7), 077011.

- Hennenlotter, A., Schroeder, U., Erhard, P., Castrop, F., Haslinger, B., Stoecker, D., Lange, K. W., & Ceballos-Baumann, A. O. (2005). A common neural basis for receptive and expressive communication of pleasant facial affect. *NeuroImage*, 26 (2), 581–591.
- Holper, L., Scholkmann, F., & Wolf, M. (2012). Between-brain connectivity during imitation measured by fNIRS. *Neuroimage*, 63 (1), 212–222.
- Huppert, T. J., Allen, M. S., Diamond, S. G., & Boas, D. A. (2009). Estimating cerebral oxygen metabolism from fMRI with a dynamic multicompartiment windkessel model. *Human Brain Mapping*, 30 (5), 1548–1567.
- Iacoboni, M. (2006). Visuo-motor integration and control in the human posterior parietal cortex: evidence from TMS and fMRI. *Neuropsychologia*, 44 (13), 2691–2699.
- Jiang, J., Chen, C., Dai, B., Shi, G., Ding, G., Liu, L., & Lu, C. (2015). Leader emergence through interpersonal neural synchronization. *Proceedings the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (14), 4274–4279.
- 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 (45), 16064–16069.
- King-Casas, B., Tomlin, D., Anen, C., Camerer, C. F., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2005). Getting to know you: reputation and trust in a two-person economic exchange. *Science*, 308 (5718), 78–83.
- Lee, R., Dai, W., & Jones, J. (2012). Decoupled circular-polarized dual-head volume coil pair for studying two interacting human brains with dyadic fMRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 68 (4), 1087–1096.
- Lu, C., Zhang, Y., Biswal, B., Zang, Y., Peng, D., & Zhu, C. (2010). Use of fNIRS to assess resting state functional connectivity. *Journal of Neuroscience Methods*, 186 (2), 242–249.
- Materna, S., Dicke, P. W., & Thier, P. (2008). Dissociable roles of the superior temporal sulcus and the intraparietal sulcus in joint attention: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20 (1), 108–119.
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2009). Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33 (7), 975–980.
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., ..., & Fisher, R. E. (2002). Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage*, 16 (4), 1159–1164.
- Naeem, M., Prasad, G., Watson, D. R., & Kelso, J. A. S. (2012). Functional dissociation of brain rhythms in social coordination. *Clinical Neurophysiology*, 123 (9), 1789–1797.
- Saito, D. N., Tanabe, H. C., Izuma, K., Hayashi, M. J., Morito, Y., Komeda, H., ..., & Sadato, N. (2010). Stay tuned: inter-individual neural synchronization during mutual gaze and joint attention. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5 (4), 127.
- Sitaram, R., Zhang, H. H., Guan, C. T., Thulasidas, M., Hoshi, Y., Ishikawa, A., ..., & Birbaumer, N. (2007). Temporal classification of multichannel near-infrared spectroscopy signals of motor imagery for developing a brain-computer interface. *NeuroImage*, 34 (4), 1416–1427.
- 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 of the United States of America*, 104 (19), 8190–8195.
- Tomlin, D., Kayali, M. A., King-Casas, B., Anen, C., Camerer, C. F., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2006). Agent-specific responses in the cingulate cortex during economic exchanges. *Science*, 312 (5776), 1047–1050.
- van der Gaag, C., Minderaa, R. B., & Keyers, C. (2007). Facial expressions: What the mirror neuron system can and cannot tell us. *Social Neuroscience*, 2 (3–4), 179–222.
- White, B. R., Snyder, A. Z., Cohen, A. L., Petersen, S. E., Raichle, M. E., Schlaggar, B. L., & Culver, J. P. (2009). Resting-state functional connectivity in the human brain revealed with diffuse optical tomography. *Neuroimage*, 47 (1), 148–156.
- Yun, K., Chung, D., & Jeong, J. (2010, June). *Simultaneous EEG Hyperscanning during Linked Social Interactions of the Ultimatum Game*. Organization for Human Brain Mapping, Barcelona, Spain, Poster Presentation.
- Zhang, H., Zhang, Y., Lu, C., Ma, S., Zang, Y., & Zhu, C. (2010). Functional connectivity as revealed by independent component analysis of resting-state fNIRS measurements. *Neuroimage*, 51 (3), 1150–1161.

Hyperscanning Used in the Measurement of the Brain Activity

Zhang Wenli¹, Tang Honghong², Liu Chao², Mai Xiaoqin¹

(1 Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing 100872; 2 State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract

Interpersonal social interaction is considered to be a main characteristic of the social cognition. Measuring brain activity simultaneously among people when interacting is intuitively appealing if the researcher is interested in putative neural markers of social interactions. Hence, the hyperscanning, which can simultaneously record more than one brain in detail, has now been widely used in this field. The devices involved in hyperscanning include electroencephalography (EEG), functional magnetic resonance imaging (fMRI), and Near-infrared spectroscopy (NIRS). The studies which have been done with these methods are mainly focus on the following three aspects: Social interaction about the game theory contexts, movement and emotion.

As a new approach in this area, there is little review published on this topic. So it is definitely difficult for the newers to have an overall understanding of this technique. This paper reviews many previous but classic studies published, from which we can learn how different recording devices could be applied to experimental paradigms and how the brains interact. As for the great advantages of this technique, it may be more widely used in the research field of social interactions.

Key words Hyperscanning, social interaction, different recording devices.

(上接第 801 页)

The Nature of Stereotype Representation: A Perspective of the Scope Hypothesis

Chen Li, Wang Pei

(School of Psychology, Northwest Normal University, Lanzhou 730070; Department of Psychology, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract

This study used facilitated task paradigm and stereotypical trait judgments to examine the scope hypothesis. The result showed that when abstract representation of the group familiar to college students is activated, trait-inconsistent representation on exemplars should be activated as well. The results were consistent with the predictions of the scope hypothesis. The judgment procedures should be designed to search for summary information in semantic memory and upon retrieving it, also search for episodic memories that are inconsistent with that summary.

Key words the scope hypothesis, stereotype, abstract representation, representation on exemplars.