

左右侧颞顶联合区对道德意图信息加工能力的共同作用——基于经颅直流电刺激技术*

罗俊¹ 叶航^{1,2} 郑昊力¹ 贾拥民² 陈姝² 黄达强²

(¹ 浙江财经大学经济学院, 经济行为与决策研究中心, 神经与行为经济学实验室, 杭州 310018)

(² 浙江大学跨学科社会科学研究中心, 杭州 310027)

摘要 行为人的意图动机是我们对日常行为的对错做出判断的重要依据。以往研究表明, 左右侧颞顶联合区(TPJ)都可能与信念意图的整合加工能力相关, 尤其是近年来越来越多的神经刺激研究为 TPJ 区域与心理状态归因能力之间的因果关系提供了证据。然而, 这些研究在实验任务的选取, 实验设计的优化, 实验结论的稳健性上仍然有改进的空间。基于此, 本研究开展了两个在设计上互相补充的实验。实验中被试的 TPJ 区域会接受一段时间的经颅直流电刺激, 并完成一系列的道德判断任务, 任务是由意图和结果, 以及负性和中性 2×2 双变量构成的 4 种条件的故事: 无伤人、伤人未遂、意外伤人和伤人成功, 被试要对故事主角的行为做出谴责程度的道德判断。结合道德判断的谴责程度和决策时间数据发现, 当人们在处理信念意图信息时, 左右侧 TPJ 区域可能是协同互动、共同发挥作用的。在激活右侧 TPJ 并限制左侧 TPJ 的情况下, 人们对负性结果的谴责程度变高, 人们变得更加依赖于行为结果做出道德判断; 而在限制右侧 TPJ 并激活左侧 TPJ 的情况下, 人们对负性意图的谴责程度变高, 人们变得更加依赖于行为者的动机做出道德判断。

关键词 道德判断; 意图; 结果; 双侧颞顶联合区; 经颅直流电刺激

分类号 B844; B845

1 前言

道德是传统社会心理学与现代道德心理学的重要研究主题, 与我们的日常生活息息相关。道德是一定社会、一定阶级向人们提出的处理个人与个人、个人与社会之间各种关系的, 一系列价值观念和行为规范的综合(谢熹瑶, 罗跃嘉, 2009)。而道德判断则是心理学和认知神经科学领域研究道德问题常用的一种方法。从定义上来说, 道德判断是个体根据自己已有的道德准则或价值基准, 对另一个体或群体的行为和事件所进行的善恶价值断定(Greene & Haidt, 2002; Greene, Sommerville, Nystrom, Darley, & Cohen, 2001), 本质上是一个高度自觉、自主、自为的心理加工过程, 是个体自我意识的展示和表现(Greene, 2003)。因此, 道德判断与道德相

关的心理过程其他心理过程一样, 具有其神经基础, 并依赖于人类神经系统的进化、发育和塑造(Casebeer, 2003)。

以往有关道德判断的认知神经科学研究主要集中在情绪功能系统与认知功能系统。已有研究结果表明, 道德判断过程中所涉及的情绪功能系统主要包括前部扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)、眶额叶皮层(orbitofrontal cortex, OFC)、腹内侧前额叶(ventral media prefrontal cortex, VMPFC)以及杏仁核(amygdala)等区域(Harenski & Hamann, 2006; Hsu, Anen, & Quartz, 2008; Pessoa, 2008; Moll & Schulkin, 2009)。认知神经科学研究还发现, 涉及认知加工的主要脑区背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)在道德判断过程中也起着重要作用(Greene et al., 2001; Greene, Nystrom, Engell, Darley,

收稿日期: 2016-05-22

* 国家社科基金重大项目(15ZDB134), 国家社科基金重点项目(13AZD061), 浙江省哲学社会科学规划项目(16NDJC156YB)资助。

通讯作者: 罗俊, E-mail: luojun@zufe.edu.cn

& Cohen, 2004)。

实际上,道德加工网络除了与情绪功能系统、认知功能系统的大脑活动有关以外,还涉及归因系统的作用(罗跃嘉,李万清,彭家欣,刘超,2013),即道德判断中对他人不同成分心理状态进行的推理,这被道德心理学家称为“心智理论”(theory of mind) (Borg, Hynes, van Horn, Grafton, & Sinnott-Armstrong, 2006; Cushman, Young, & Hauser, 2006; Young, Cushman, Hauser, & Saxe, 2007; Young, Camprodon, Hauser, Pascual-Leone, & Saxe, 2010),包括对他人心理状态的初级编码(Koster-Hale, Saxe, Dungan, & Young, 2013; Young & Saxe, 2008),使用这些信息进行道德判断(Young et al., 2007),自动地推断他人心理状态(Young & Saxe, 2009),以及对已经完成的道德判断进行事后心理状态推理以证明判断的合理性等过程(Kliemann, Young, Scholz, & Saxe, 2008; Young, Dodell-Feder, & Saxe, 2010)。

这些意图信息加工及其与相关信息的整合是道德判断过程的必要环节。简言之,我们在日常生活中对某种行为是否道德做出评价时,不仅会考虑它所导致的后果,还会考虑当事人做出这一行为的意图动机与出发点(Cushman et al., 2006; Young et al., 2007; Young & Koenigs, 2007)。发展心理学研究发现,年幼儿童因为不能很好地推断他人心理状态,尤其缺乏整合各种与心理状态相关的信息的能力,而总是忽略意图与信念,只根据行为结果来进行道德判断(Saxe, Tzelnic, & Carey, 2007)。然而随着年龄的增长,他们在道德判断中会越来越多地考虑行为人的意图动机,而不是行为结果(Shultz, Wright, & Schleifer, 1986; Baird & Moses, 2001)。

认知神经科学家利用脑成像工具找到了与推断他人心理状态相关的脑区,这些脑区被称为“心智理论网络”(theory of mind network),包括内侧前额叶(the medial prefrontal cortex, MPFC),楔前叶(precuneus, PC),右颞上沟回(right superior temporal sulcus, RSTS),以及双侧颞顶联合区(bilateral temporalparietal junction, TPJ) (Vogeley et al., 2001; Ruby & Decety, 2003; Saxe & Kanwisher, 2003; Aichhorn et al., 2009)。其中,TPJ 是备受关注的一个区域,它在道德判断过程中的作用正受到越来越多研究者的重视。

如 Young 等人(2007)就通过功能性磁共振成像

(function magnetic resonance imaging, fMRI)研究了 TPJ 对道德判断过程中动机意图作用的神经基础。他们从行为意图和结果的交互作用出发,设计了一个道德判断的意图—结果任务。实验通过文字表述的方式向被试呈现故事场景,每个故事分为背景、预示、意图和行为结果四个部分。其中,“背景”主要对故事发生的情景进行介绍,“预示”主要包含对结果的预言信息,“意图”描述了故事中的主角对于情景的信念和想法,“行为结果”包含了故事主角实际做出的行为以及最后产生的后果。故事呈现完毕后,要求被试对故事主角的行为做出允许程度或谴责程度的道德判断。在实验设计上,第一个自变量“意图”和第二个自变量“结果”都有负性和中性两种情况,因此双变量 2×2 的交互作用就构成了 4 种实验条件:无伤人(中性意图中性结果)、意外伤人(中性意图负性结果)、伤人未遂(负性意图中性结果)和伤人成功(负性意图负性结果)。

实验结果发现,该任务诱发了显著的意图与结果的交互作用:在中性意图下,被试对中性结果(即无伤人)和负性结果(即意外伤人)的道德判断有显著差异,而在负性意图下,无论是中性结果(即伤人未遂)还是负性结果(即伤人成功),被试都给予很高的谴责和很低的允许度,由此说明人们在做道德判断时,与结果相比,意图被放在了更重要的位置,或者说在意图和结果对于道德判断的共同作用中,意图加工占有更大的优势(Young et al., 2007)。

更为重要的是,实验还发现当被试加工意图信息时,右侧颞顶联合区(RTPJ)的激活显著高于基线水平,证实该脑区具有编码意图、信念等他人心理状态的功能,也首次从神经机制上证明了信念意图在道德判断中所起的关键作用。另外, RTPJ 的激活还受到意图和结果因素交互作用的影响,在伤人未遂情境下, RTPJ 的激活程度最高(Young et al., 2007)。在先呈现意图,再呈现预示信息和结果时, RTPJ 区域也有显著激活(Young & Saxe, 2008)。由此,研究者提出 RTPJ 不仅具有表征意图信息的作用,还有整合意图和结果等相关信息的重要作用(Young et al., 2007; Young & Saxe, 2008; Young, Scholz, & Saxe, 2011)。

在以上研究结论的基础上, Young, Camprodon 等人(2010)又采用经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)技术验证了 TPJ 区域对信念意图的加工作用。他们通过在线 TMS 和离线 TMS 两种

方式干扰 RTPJ 区域的神经活动,发现了一致的结果:与控制组相比,采用 TMS 干扰 RTPJ 的活动后,被试对伤人未遂行为的允许度评价显著增高,即被试更注重行为的结果而非意图(Young, Dodell-Feder, et al., 2010)。由此可见, RTPJ 在意图—结果的道德判断中不仅涉及简单的意图信息编码,更具有整合意图和结果信息的高级功能。这一研究首次采用脑刺激(brain stimulation)方法,通过对大脑皮层的直接抑制,从因果关系上研究了大脑皮层相关区域与人的高级社会认知行为之间的关联。

除 TMS 以外,一种非侵入式的脑刺激技术“经颅直流电刺激”(transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)也越来越多地应用在了神经认知研究领域(Fecteau, Knoch, et al., 2007; Fecteau, Pascual-Leone, et al., 2007; Boggio et al., 2010; Andrews, Hoy, Enticott, Daskalakis, & Fitzgerald, 2011; Ruff, Ugazio, & Fehr, 2013),包括在验证 TPJ 区域对于处理意图动机信息的作用上,最近陆续有进一步的相关研究出现。如国内学者甘甜等(2013)采用 tDCS 技术对 RTPJ 区域进行激活,结果发现与伪刺激条件相比,阳极刺激后道德判断反应时显著延长,在伤人未遂和意外伤人条件下差异显著,以此说明右侧颞顶联合区的激活能影响道德判断中的意图加工。Sellaro 等人(2015)的 tDCS 研究发现激活 RTPJ 区域会导致人们在道德判断的意外伤人(中性动机负性结果)条件下有更少的谴责程度,进而证实了 RTPJ 在人们加工动机意图信息时的作用。Ye 等人(2015)发现,利用 tDCS 分别抑制 RTPJ 区域或抑制 LTPJ 区域(左侧颞顶联合区),都会减少信念在道德判断中的角色,使得人们更多地关注道德事件的结果。Mai 等人(2016)发现,通过 tDCS 抑制 RTPJ 区域会减少被试对于他人意图动机与情绪情感的推理和理解能力。

以上研究虽然都通过激活或抑制 TPJ 区域,从因果关系上论证了 TPJ 区域对于意图动机的作用。然而,这些研究在实验任务的选取,实验设计的优化,实验结论的稳健性上仍然有改进的空间。一是实验设计不够稳健。以 Young, Camprodon 等人(2010)为范式的后续研究大多将被试随机分配在不同刺激组,以组间被试的行为差异作为刺激效应。这种实验设计很大程度上依赖被试没有显著的个体差异,而样本数量越少就越难满足这个条件。而要求被试在刺激前后各完成一个相似的任务,并以被试刺激前后的行为差异作为刺激效应的实验设计则不可避免地受到了学习效应的干扰;二是实验

结论不够完整,前述研究都只得到抑制或刺激 TPJ 区域时,所导致的人们在理解他人意图动机信息时的决策变化,而并没有得到更为完整的对称性结论,即抑制某一区域导致动机作用减弱,且激活某一区域导致动机作用增强。三是实验任务不够丰富,人们对于不同道德故事谴责程度的判断,可能会因为故事背景的不同(比如故事主角之间的亲疏程度)而有所改变,而这种可能性并没有在以往研究中得以体现。

为了克服和完善以上可能存在的问题,我们设计了两个实验相互印证,以稳健性地给出 TPJ 在人们处理动机意图信息过程中的作用。在第一个实验中,我们让被试在刺激前后各完成一个相似的道德判断任务,并通过刺激前后的故事交叉呈现的方式(即随机选取一半的被试在刺激前完成任务 1,刺激后完成任务 2;另一半的被试在刺激前完成任务 2,刺激后完成任务 1),避免了学习效应的干扰,排除了刺激前后道德故事的差异所带来的可能影响,进而更为直接地给出了不同刺激模式对于被试道德决策的作用。在第二个实验中,被试只需要在刺激后完成一个道德判断任务,我们通过采集足够多的实验被试(每种刺激 20 人,共 60 人)样本,来保证不同刺激组中被试的决策差异仅仅是由刺激所导致的。此外,我们还在实验中,设计了两种不同道德情境的任务:朋友关系情境与买卖关系情境,以考察故事背景的差异是否会对实验结果产生作用。

最后,本研究在以往脑成像和脑刺激(TMS、tDCS)结论的基础上,通过 tDCS 技术对左右两侧 TPJ 区域进行干预(激活右侧 TPJ 并限制左侧 TPJ、限制右侧 TPJ 并激活左侧 TPJ),以考察被试在干预前后对涉及事件动机与结果的行为做出道德判断时有何差异。因此,我们可以稳健性地得到左右两侧 TPJ 在道德判断过程中的作用,以及进一步区分了激活或抑制左右两侧 TPJ 的不同影响。

2 实验 1

2.1 方法

2.1.1 被试

被试为 51 名浙江大学在校大学生或研究生(男性 21 名,女性 30 名),平均年龄是 21.9 岁(从 18 岁到 28 岁)。所有被试均为右利手,身体健康,无精神系统疾病及脑部损伤史,无癫痫或癫痫家族史,视力正常或矫正后正常,且之前并没有做过类似的 tDCS 和道德判断实验任务。被试在实验之前均签

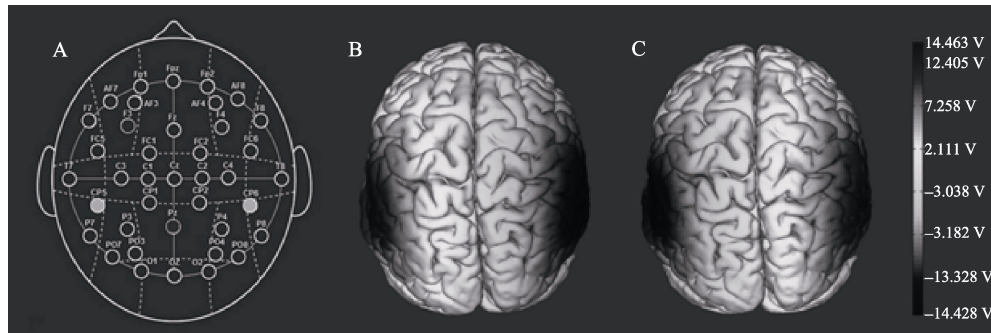


图 1A 电极片设置坐标

图 1B、C 刺激实景显示

署了实验知情同意书, 实验后, 所有被试都未出现任何身体上的不良反应。每名被试都可以在实验后得到 50 元的现金报酬。

所有被试均需在无刺激的情况下完成一个道德判断任务, 刺激后再完成一个道德判断任务。由于所有被试被随机安排到 3 个刺激组: 正刺激 RTPJ 负刺激 LTPJ (17 人, 其中 10 人为女生); 负刺激 RTPJ 正刺激 LTPJ (17 人, 其中 10 人为女生); 伪刺激 (17 人, 其中 10 人为女生)。

2.1.2 tDCS

tDCS 对大脑皮层神经细胞放电活性的影响, 取决于刺激电流的强度和持续时间两个因素。出于安全性考虑, 电流强度通常被限制在 2 mA 以内。如果持续时间足够长, 刺激后大脑皮层兴奋性的改变可达 1 h 以上 (Jacobson, Goren, Lavidor, & Levy, 2012)。已有的 tDCS 研究通常刺激 10~20 min, 就可以观察到被试心理与行为的显著改变。有研究报告, 5 min 刺激时长已能诱发出相应的刺激效应 (Boggio et al., 2009)。鉴于此, 本实验每组被试的刺激时长均为 20 min, 电流强度为 2 mA。

本实验采用 Starlab 研发的, NE (Neuroelectronics) 公司生产的 Starstim 经颅直流电刺激仪。¹ Starstim 经颅直流电刺激仪通过蓝牙信号控制电流刺激的强度和类型, 电极片面积为 8 cm²。

根据 EEG 10-20 系统扩展的坐标和相关磁共振成像定位研究 (Jurcak, Tsuzuki, & Dan, 2007), 将双侧电极固定放置在头皮 CP5 和 CP6 处 (此位置为 fMRI 研究中报告的 LRTPJ、RTPJ 位置 (Young et al., 2007; Young & Saxe, 2009, 见图 1A), 图 1B、1C 则是 Starstim 经颅直流电刺激仪的监控屏在实验过程中对上述靶区进行阳刺激时的实景显示。

3 组刺激模式分别为: 正刺激 RTPJ 负刺激 LTPJ

(坐标 CP5 为阴极布点, 坐标 CP6 为阳极布点); 负刺激 RTPJ 正刺激 LTPJ (坐标 CP5 为阳极布点, 坐标 CP6 为阴极布点); 第三, 伪刺激, 作为对照组, 该组被试在随机进行 30 s 阳刺激或阴刺激后即停止刺激 (可通过对仪器的相关设置实现); 但被试仍然不摘下刺激帽, 以最大程度地消除实验者效应。

2.1.3 实验材料与任务

类似于 Young, Camprodon 等人 (2010) 的道德判断任务, 我们设计了有关意图—结果的故事。每个故事分为背景、预示、意图 (信念) 和结果四个部分 (如图 2)。由于故事“背景”不变, 故事“预示”表征了故事的“结果”, 因此只需根据“意图”和“结果”, 以及“负性”和“中性”双变量 2×2 的交互作用就构成了 4 种条件的故事: 无伤人、伤人未遂、意外伤人和伤人成功 (如图 3)。被试最后要对故事主角的行为做出谴责程度的道德判断, 即 1 (完全不必谴责) 至 10 (最高程度的谴责)。每个故事的字数 (120 ± 5)、关键词等相互匹配, 情节不重复。

每名被试分别需要在刺激前后各完成一个道德判断的实验任务 (A、B), 每个道德判断的实验任务包括两个完整的故事, 即实验任务 A 包括故事 S₁、S₂; 实验任务 B 故事包括 S₁^{*}、S₂^{*}。为了避免学习效应和刺激前后实验任务的差别干扰实验结果, 实验员将所有被试随机安排为两个部分 (Part I、Part II), Part I 中的被试在刺激前完成实验任务 A (包括故事 S₁、S₂), 在刺激后完成实验任务 B (包括故事 S₁^{*}、S₂^{*}); Part II 中的被试在刺激前完成实验任务 B (包括故事 S₁^{*}、S₂^{*}), 在刺激后完成实验任务 A (包括故事 S₁、S₂)。我们还将故事主角所面临的情境分成买卖关系情境 (S₁ and S₁^{*}) 与朋友关系情境 (S₂ and S₂^{*}) 两种不同类型。实验任务安排示例如图 4。

2.1.4 实验过程

实验过程安排如下: 首先, 被试需要完成一个

¹ Starstim 经颅直流电刺激仪的外观可见: <http://mypage.zju.edu.cn/yehang/681210.html>。

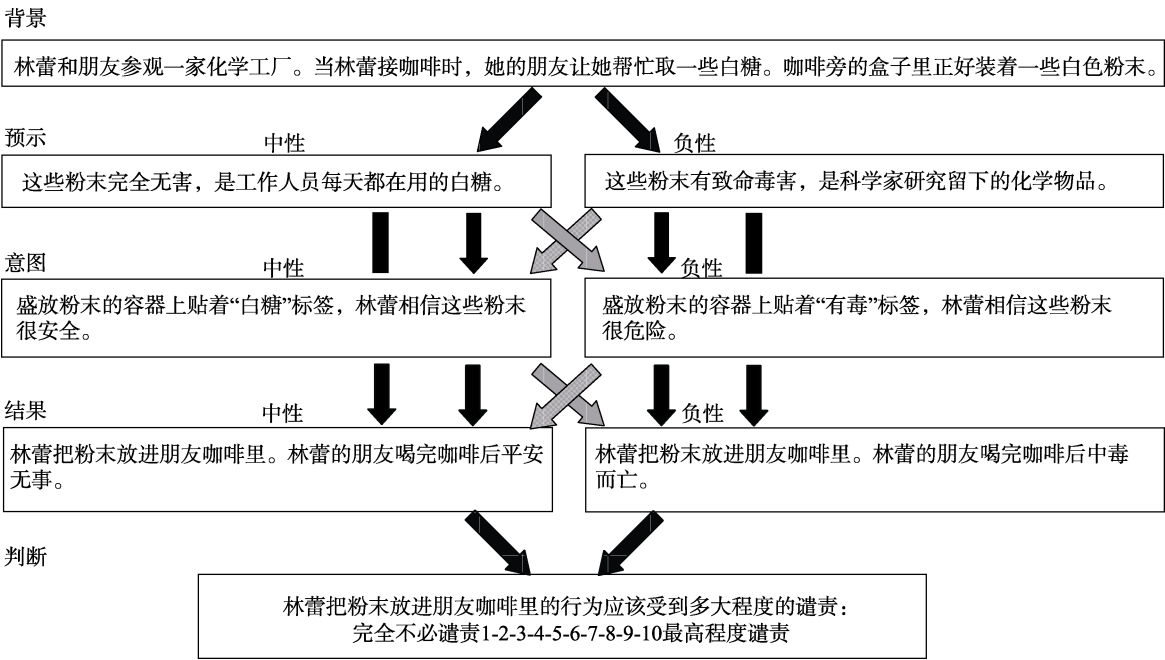


图 2 实验故事构成示例

		中性	结果	负性
意图	中性	盛放粉末的容器上贴着“白糖”标签，林蕾相信这些粉末很安全。 林蕾把粉末放进朋友咖啡里。林蕾的朋友喝完咖啡后平安无事。		盛放粉末的容器上贴着“白糖”标签，林蕾相信这些粉末很安全。 林蕾把粉末放进朋友咖啡里。林蕾的朋友喝完咖啡后中毒而亡。
	负性	盛放粉末的容器上贴着“有毒”标签，林蕾相信这些粉末很危险。 林蕾把粉末放进朋友咖啡里。林蕾的朋友喝完咖啡后平安无事。		盛放粉末的容器上贴着“有毒”标签，林蕾相信这些粉末很危险。 林蕾把粉末放进朋友咖啡里。林蕾的朋友喝完咖啡后中毒而亡。

图 3 实验故事条件示例

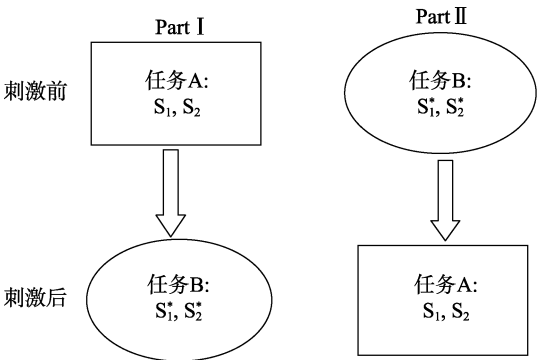


图 4 实验任务安排示意

道德判断的实验任务，实验任务中的故事通过 visual C#语言编写，呈现在电脑屏幕上。故事按照背景、预示、意图和结果的固定顺序分别一幕幕呈现，每一幕呈现的时间为 8 s。故事呈现完毕后，被试需要通过电脑键盘对每一个故事中主角的行为做出谴

责程度的判断，判断时间没有限制，但会被系统自动记录下来。在被试完成了两个故事(每个故事包括 4 种条件)的道德判断后，将接受 15 min 的 tDCS 刺激。在接受刺激的过程中，被试不会受到任何信息的干扰，只需放松休息。15 min 刺激后，被试需要完成另一个道德判断的实验任务，并同时继续接受 5 min 的刺激。在被试完成所有故事的道德判断后，他们还要填写一份调查问卷并现场获得他们的实验报酬。实验过程如图 5。

2.2 结果

2.2.1 全样本

本实验主结果的统计数据总结在了表 1 和图 6 中，它们集中反映了不同刺激类型下，被试在 4 种故事条件下所做出的道德判断(谴责程度评分)。

在将 Part I 和 Part II 两部分被试合并起来对

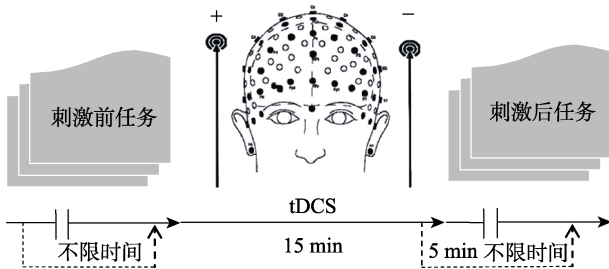


图 5 实验过程安排示意

实验主结果进行分析前,我们首先需要确定 Part I 和 Part II 两部分被试在刺激前,所完成实验任务 A 和实验任务 B 之间并没有显著差异。通过重复测量方差分析,将信念(中性 vs 负性)和结果(中性 vs 负性)作为被试内因素,将任务(任务 A vs 任务 B)作为被试间因素的检验结果表明,任务本身不会产生显著的影响。这个结论无论是对应谴责程度评分($F(1, 106) = 0.01, p = 0.912$)、还是对决策时间($F(1, 106) = 0.72, p = 0.331$)都是成立的。因此,我们有理由认为两个任务之间是没有差异的,并在此基础上对被试在接受刺激之前和接受刺激之后的道德判断水平进行比较。

在证实了无论是谴责程度评分、还是决策时间,两个实验任务之间都没有显著差异后,我们就可以把被试在接受刺激前后道德判断之间的差异归因于 tDCS 刺激的效果。为考察刺激效果,我们运用重复测量方差分析,将信念(中性 vs 负性)、结果(中性 vs 负性)和时间(刺激前 vs 刺激后)作为被试内因素,并将刺激类型(右侧正刺激左侧负刺激 vs 右侧负刺激左侧正刺激 vs 伪刺激)作为被试间因素,进行统计检验。检验结果表明,意图信念主效应显著,负性意图的谴责度(均值 8.66)显著高于中性意图(均值 4.32), $F(1, 105) = 811.15, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.819$; 结果主效应显著,负性结果的谴责度(均值 8.09)显著高于中性结果(均值 4.58), $F(1, 105) = 552.28, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.753$; 此外,意图信念与结果之间的交互作用,也对被试在进行道德判断时给出的应受谴责度评分产生了显著的影响, $F(1, 105) = 4.53, p = 0.012$, 偏 $\eta^2 = 0.023$ 。同时,根据 Bonferroni 校正的事后分析结果,被试在伤人成功

(均值 9.00)和故意伤人(均值 8.21)条件下的谴责程度评分都比伤人未遂(均值 6.26)和无伤人(均值 2.98)条件下的谴责程度评分显著更低($p < 0.001$)。另外,我们还发现刺激类型对被试在进行道德判断时给出的谴责程度评分也有显著影响, $F(2, 105) = 5.17, p = 0.007$, 偏 $\eta^2 = 0.031$ 。

以上结果与以往的研究结论一致。对于我们的实验来说,更加重要的是,统计检验还表明,在结果、时间和刺激类型这三者之间存在着显著的交互效应, $F(2, 105) = 3.21, p = 0.041$, 偏 $\eta^2 = 0.018$ 。进一步分析表明,在负性结果条件下,被试在接受右正/左负的 tDCS 刺激后给出的谴责程度评分变得更高了(刺激前的均值为 7.69; 刺激后的均值为 8.19; $p = 0.004, d = 0.278$),尤其是在伤人成功的条件下(刺激前的均值为 8.82; 刺激后的均值为 9.46; $p < 0.001, d = 0.331$)。在另一方面,在中性结果的条件下,被试在接受左正/右负的 tDCS 刺激后给出的谴责程度评分却变得更低了(刺激前的均值为 5.85; 刺激后的均值为 5.00; $p < 0.001, d = 0.413$)。

我们还考虑了被试做出道德判断所需的时间(决策时间)。重复测量方差分析结果表明,被试接受刺激后完成道德判断任务时所用的时间显著缩短了, $F(1, 105) = 7.62, p = 0.006$, 偏 $\eta^2 = 0.031$ 。由于被试在接受刺激后再去完成第 2 个任务时,他们对实验任务变得更加熟悉了,出现这个结果也许是不难理解的。但重要的是,信念、时间和刺激类型这三者之间的交互关系,也对决策时间有轻微的显著影响, $F(2, 105) = 2.69, p = 0.067$, 偏 $\eta^2 = 0.015$ 。进一步的事后分析表明,在接受左正右负刺激之后,被试在负性信念条件下的决策时间显著缩短了(刺激前的均值为 85.21 s; 刺激后的均值为 75.62 s; $p = 0.003, d = 0.452$);与此同时,在中性信念条件下,接受了伪刺激的那些被试的决策时间也显著缩短了(刺激前的均值为 83.54 s; 刺激后的均值为 76.69 s; $p = 0.022, d = 0.298$)。

我们还检验了两个实验任务的执行顺序是否会影响被试的道德判断。重复测量方差分析结果显

表 1 三种刺激组刺激前后不同故事条件下的谴责程度均值与标准差

故事条件	右侧正刺激左侧负刺激		左侧正刺激右侧负刺激		伪刺激	
	刺激前	刺激后	刺激前	刺激后	刺激前	刺激后
伤人成功	9.33 (0.98)	9.69 (0.52)	9.89 (0.21)	9.90 (0.35)	9.62 (0.76)	9.73 (0.45)
意外伤人	6.29 (2.15)	6.79 (1.95)	6.45 (2.00)	6.10 (2.03)	6.95 (1.50)	6.69 (1.58)
伤人未遂	6.78 (2.46)	6.64 (2.69)	8.78 (1.15)	7.81 (2.02)	7.77 (1.55)	7.56 (1.70)
无伤人	1.75 (1.15)	1.54 (0.96)	2.55 (1.75)	2.10 (1.50)	2.17 (2.09)	2.05 (1.98)

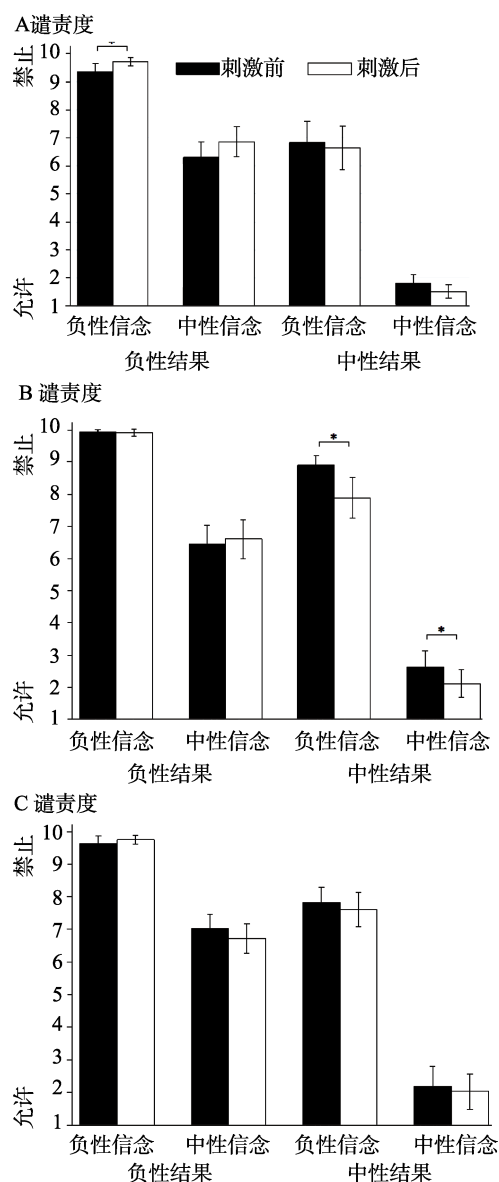


图6 三种刺激组刺激前后不同故事条件下的谴责程度柱状图

注: (A)是接受右阳左阴 tDCS 刺激的被试在两个实验任务中在 4 种故事条件下给出的应受谴责度评分; (B)是接受左阳右阴 tDCS 刺激的被试在两个实验任务中在 4 种故事条件下给出的应受谴责度评分; (C)是接受伪刺激的被试在两个实验任务中在 4 种故事条件下给出的应受谴责度评分。置信区间为 95%; 星号代表被试内存在着显著差异。

示, 无论是从被试给出的应受谴责度评分来看($F(1, 102) = 0.14, p = 0.674$, 偏 $\eta^2 = 0.001$), 还是从被试在作出判断时的决策时间来看($F(1, 102) = 1.57, p = 0.198$, 偏 $\eta^2 = 0.007$), 都不存在显著的顺序效应。

2.2.2 按情境划分样本

为了进一步检验情境对道德判断的影响, 我们还加入了一个情境变量。在进行全样本分析时, 我们是把情境(买卖关系 vs 朋友关系)作为重复测量

方差分析中的一个被试内因素来处理的。在按情境划分样本中, 我们首先检验了任务 A 与任务 B 之间的相似性, 结果表明, 无论是从应受谴责度评分来看($F(1, 52) = 0.004, p = 0.945$, 偏 $\eta^2 = 0.001$), 还是从决策时间来看($F(1, 52) = 0.40, p = 0.539$, 偏 $\eta^2 = 0.003$), 两种实验任务之间都没有显著影响。

与全样本结果类似, 我们发现, 信念($F(1, 52) = 425.56, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.695$)、结果($F(1, 52) = 257.20, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.543$)对被试在道德判断中的谴责程度评分有显著影响。此外, 除了发现信念与结果之间的交互关系的显著影响之外($F(1, 52) = 63.26, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.352$), 我们还发现, 情境与信念之间的交互关系的影响也是显著的($F(1, 52) = 7.30, p = 0.009$, 偏 $\eta^2 = 0.041$)。进一步的事后分析表明, 在中性信念条件下, 被试在涉及买卖关系的情境下给出的应受谴责度评分明显低于朋友关系情境中的评分(前者的均值为 5.63; 后者的均值为 6.05; $p = 0.009, d = 0.548$), 这表明, 这类情境因素确实影响了道德判断时的偏好。

接下来, 我们运用重复测量方差分析法, 以情境、信念、结果和时间为被试内因素, 以刺激类型为被试间因素, 进行统计检验。我们再次发现, 被试在负性信念条件下给出的谴责程度评分明显高于中性信念条件, $F(1, 51) = 456.23, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.702$; 被试在负性结果条件下给出的谴责程度评分也高于中性结果条件($F(1, 51) = 318.59, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.597$), 而且信念和结果之间的交互效应也有显著影响($F(1, 51) = 62.90, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.349$)。此外, 我们还发现情境(是买卖关系, 还是朋友关系)产生了显著效应($F(1, 51) = 5.57, p = 0.022$, 偏 $\eta^2 = 0.057$), 被试在买卖关系情境下给出的谴责程度低于朋友关系情境下的谴责程度, 但并不显著(前者的均值为 6.40; 后者的均值为 6.59; $p = 0.125, d = 0.692$)。另外, 在买卖关系情境中, 负性信念的条件下接受右阳左阴 tDCS 刺激后, 被试给出的谴责程度有轻微下降(刺激前的均值为 7.91; 刺激后的均值为 7.64; $p = 0.065, d = 0.553$)。

我们也对决策时间进行了重复测量方差分析, 结果发现与全样本分析时一样, 被试接受刺激后完成道德判断任务时所用的时间显著缩短了, $F(1, 51) = 4.57, p = 0.035$, 偏 $\eta^2 = 0.061$ 。此外, 进一步的检验还表明, 伪刺激组中被试在故意伤人条件下, 买卖关系情境时的决策时间要显著长于朋友关系情境时的决策时间(前者的均值为 86.23s; 刺激后的均

值为 81.59 s; $p = 0.012$, $d = 0.459$ 。

3 实验 2

3.1 被试与方法

被试为 60 名浙江大学在校大学生或研究生(平均年龄 21.5 岁, 男性 28 名女性 32 名)。所有被试均为右利手, 身体健康, 无精神系统疾病及脑部损伤史, 无癫痫或癫痫家族史, 视力正常或矫正后正常。所有被试在实验之前均签署知情同意书, 实验持续约 20 min, 实验后, 所有被试都未出现任何身体上的不良反应。每名被试都可以在实验后得到 50 元的现金报酬。

被试被随机分配到 3 个实验组中: 分别为右侧正刺激左侧负刺激组(共 20 名被试, 11 名女性)、左侧正刺激右侧负刺激组(20 名被试, 10 名女性)和伪刺激组(20 名被试, 11 名女性)。与实验 1 不同, 所有被试只需在刺激情况下完成包含有 4 个故事的道德判断任务。道德实验任务所采用的故事内容以及 tDCS 刺激位置、方式、时间均与实验 1 相同。

3.2 结果

3.2.1 全样本

对故事主角行为的谴责程度评分采用 3(tDCS 刺激: 右正左负刺激、左正右负刺激、伪刺激) $\times$ 2(信念动机: 中性、负性) $\times$ 2(结果: 中性、负性)被试内重复测量方差分析。结果显示: 意图主效应显著, 负性意图的谴责度(均值 8.61)显著高于中性意图(均值 3.92), $F(1, 237) = 1353.14$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.851$; 结果主效应显著, 负性结果的谴责度(均值 7.92)显著高于中性结果(均值 4.60), $F(1, 237) = 1005.18$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.809$; 意图与结果的交互作用显著, $F(1, 237) = 93.83$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.284$; 其余效应都不显著。两两比较检验(Bonferroni)显示无伤人(均值 1.79), 过失伤人(均值 6.04), 伤人未遂(均值 7.42)和伤人成功(均值 9.80)之间存在显著差异($p < 0.001$)。同时对于结果和刺激类型的交互项存在显著差异, $F(2, 237) = 5.32$, $p = 0.005$, 偏 $\eta^2 = 0.043$ 。两两比较检验(Bonferroni)发现在中性结果的情况下, 左正右负刺激组(均值 5.09)获得的谴责程度数据显著高于右正左负刺激组(均值 4.23, $p < 0.001$, $d = 0.253$)和伪刺激组(均值 4.49, $p = 0.017$, $d = 0.171$)。

最重要的发现是意图、结果和刺激类型的三项交互作用显著, $F(2, 237) = 2.92$, $p = 0.056$, 偏 $\eta^2 = 0.024$ 。两两比较检验(Bonferroni)发现在伤人未遂

和伤人成功的情况下, 左正右负刺激组给出的谴责程度要显著高于伪刺激组的谴责程度(伤人未遂: 左正右负刺激组均值 8.21, 伪刺激组均值 7.23, $p = 0.013$, $d = 0.482$; 伤人成功: 左正右负刺激组均值 9.91, 伪刺激组均值 9.70, $p = 0.034$, $d = 0.439$), 其余效应都不显著(见图 7)。

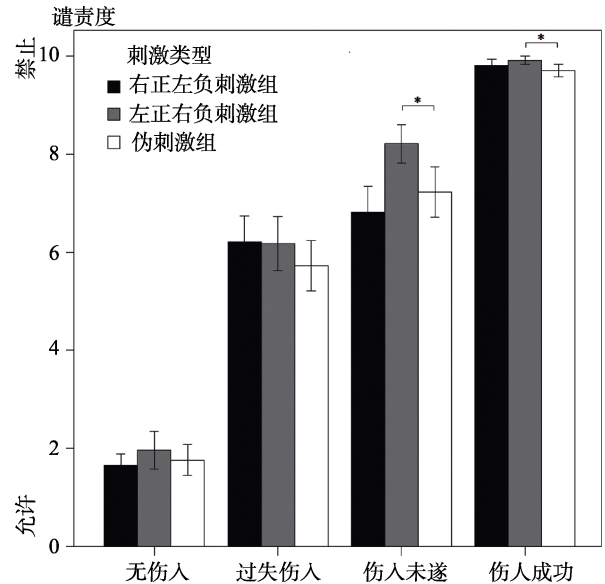


图 7 三种刺激组间不同故事条件下的谴责程度柱状图
注: 误差条代表 95%置信区间; 星号代表不同刺激组间的显著程度。

3.2.2 按情境划分样本

为了进一步验证结果的稳健性, 同时验证不同的故事背景——朋友关系和买卖关系之间是否存在差异, 我们对故事主角行为的谴责度评定采用 2(意图: 中性、负性) $\times$ 2(结果: 中性、负性) $\times$ 2(故事类型: 朋友关系、买卖关系)作为被试内因素, 刺激类型作为被试间因素进行重复测量方差分析。在该分析中, 我们发现了类似于综合分析中的结果如下: 意图主效应($F(1, 117) = 1016.03$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.897$)、结果主效应($F(1, 117) = 698.10$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.856$)、意图和结果的交互作用($F(1, 117) = 60.55$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.341$)以及结果和刺激类型的交互作用($F(2, 117) = 3.70$, $p = 0.028$, 偏 $\eta^2 = 0.059$)均显著。

当考虑到故事类型对于刺激结果的影响时, 我们发现故事类型的主效应显著, $F(1, 117) = 30.83$, $p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.209$ 。进一步的检验发现被试在买卖关系的故事背景中对于故事主人公的谴责程度要显著高于在朋友关系之中的谴责程度(朋友关系中均值 6.03; 买卖关系中均值 6.49, $p < 0.001$)。

同时, 故事类型与意图的交互作用($F(1, 117) = 81.71, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.411$)、故事类型与结果的交互作用($F(1, 117) = 48.12, p < 0.001$, 偏 $\eta^2 = 0.291$)、故事类型与意图和结果三项交互作用($F(1, 117) = 3.97, p = 0.049$, 偏 $\eta^2 = 0.033$)均显著。

进一步的检验发现, 中性意图中, 朋友关系故事背景的谴责程度(均值 3.32)显著低于买卖关系故事背景(均值 4.51, $p < 0.001, d = 0.420$)的谴责程度。而在负性意图中, 朋友关系故事背景的谴责程度(均值 8.75)显著高于买卖关系故事背景(均值 8.47, $p = 0.002, d = 0.138$)。在负性结果的情况下, 朋友关系故事背景的谴责程度(均值 7.46)显著低于买卖关系故事背景(均值 8.38, $p < 0.001, d = 0.366$)。而在伤人未遂的情况下, 朋友关系故事背景的谴责程度(均值 7.73)显著高于买卖关系故事背景(均值 7.11, $p < 0.001, d = 0.277$)。而在无伤人和过失伤人的情况下则呈现相反的结果(无伤人: 朋友关系均值 1.49; 买卖关系均值 2.09, $p < 0.001, d = 0.425$; 过失伤人: 朋友关系均值 5.14; 买卖关系均值 6.93, $p < 0.001, d = 0.801$)。在伤人成功的情况下没有发现故事背景的主效应。重要的发现是, 在伤人未遂和伤人成功的情况下, 左正右负刺激组被试给出的谴责程度要显著高于伪刺激组的谴责程度, 而该结果只在买卖关系的故事背景下显著(伤人未遂: 左正右负刺激组均值 8.10; 伪刺激组均值 6.85, $p = 0.034, d = 0.596$ 。伤人成功: 左正右负刺激组均值 9.98; 伪刺激组均值 9.73, $p = 0.030, d = 0.667$) (见图 8)

4 讨论

人们对他人行为是否道德所做出的判断常常依赖于多种因素的作用, 譬如行为者的动机和愿望(Cushman, 2008)、行为所导致的后果(Greene et al., 2001)、行为本身是否受到“外在因素”的强制(Woolfolk, Doris, & Darley, 2006; Krebs, Vermeulen, Carpendale, & Denton, 2014)、行为导致伤害的原因(Cushman et al., 2006)和行为者过往的“历史表现”(Kliemann et al., 2008)以及其他(Valdesolo & DeSteno, 2006; Young, Camprodon, et al., 2010)。在我们的研究中, 关注的是行为者的信念动机和行为的结果这两个因素: 通过对这两个因素进行操控, 并在此基础上运用 tDCS 调节双侧颞顶联合区(TPJ)的神经活动, 以探索人们在对他人行为做出道德判断所考虑的动机或结果的神经机制, 以及这一机制的可能的情境依赖性, 同时我们也验证了 TPJ 与人们在做出道德判断时的心理状态归因之间具有因果关系这一假设。

这项研究支持并补充了以往有关 TPJ 整合信念动机信息作用的研究结论(如 Young, Camprodon, et al., 2010): 在激活右侧 TPJ 并限制左侧 TPJ 的情况下, 人们对负性结果的谴责程度变高, 人们变得更加依赖于行为结果做出道德判断(实验 1); 而在限制右侧 TPJ 并激活左侧 TPJ 的情况下, 人们对负性意图的谴责程度变高, 人们变得更加依赖于行为者的动机做出道德判断(实验 2)。因此, 我们从刺激/抑制双侧 TPJ, 行为的动机/结果正反两面, 互补性

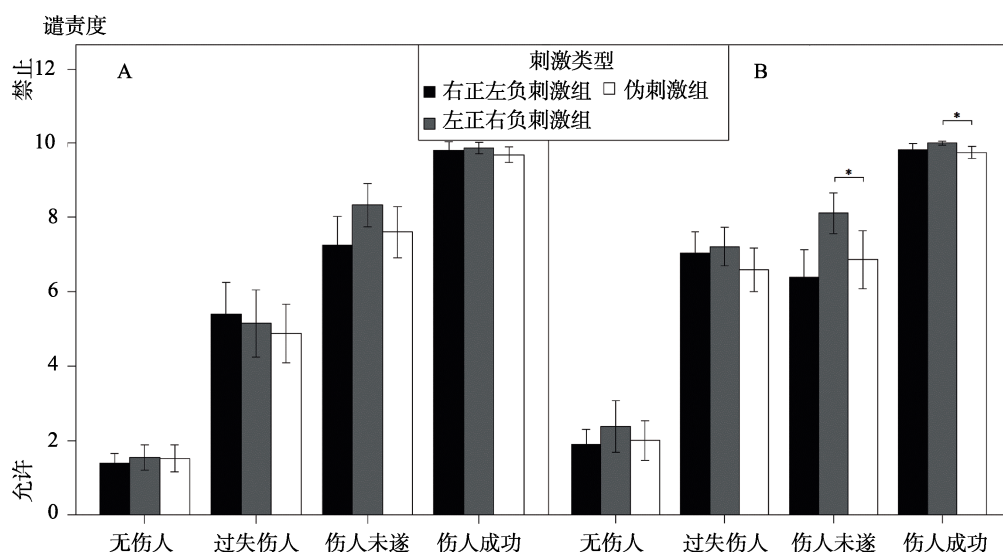


图 8 不同刺激组间不同实验条件下的谴责程度柱状图

注: 图 A 为朋友关系, 图 B 为买卖关系。误差条代表 95% 置信区间。星号代表不同刺激组间的显著程度。

地论证了双侧 TPJ 对人们在道德判断时进行心理状态归因的能力所起的决定性作用。

以上实验结果的稳健性还体现在本实验的设计上。之前有关个体决策的神经刺激实验,为了在比较刺激前后的效果时避免学习效应的干扰,大多采用被试在不同刺激后的行为差异结果作为刺激效应(Knoch et al., 2006; Fecteau, Knoch, et al., 2007; Fecteau, Pascual-Leone, et al., 2007; Boggio et al., 2010; Young, Camprodon, et al., 2010)。然而,个体中可能存在的异质性使我们对于不同刺激组的比较结果心生疑虑,尤其是在小规模样本的实验条件下。为了增强实验结果的稳健性,我们在实验设计上做了相应的改善。一方面,我们在两个实验中分别采用不同的实验设计(让被试在刺激前后各完成一个相似的实验任务,在刺激后完成一个实验任务),以检验不同的实验设计是否会影响实验结果,同时在实验 1 的设计中还控制了刺激前后道德任务的无差异性,以确保刺激前后的被试决策具有可比性;另一方面,在两个实验里我们都有意识地增加了实验的被试数量,特别是在采用不同刺激后的行为差异结果作为刺激效应的实验 2 中,保证每一个刺激组被试的数量为 20 人,这相对于以往神经实验的被试数量来说有了显著的增加,从而确保了实验结果在统计学上的意义。

除了实验设计以外,我们还在实验任务方面有所细分。本实验任务中的道德故事分为两种不同的社会情境。这一划分是因为在道德心理学研究中,有证据表明当人们在面对陌生人和朋友时会表现出不同的道德判断(Ma, 1989; Smetana, Campione-Barr, & Metzger, 2006; Kurzban, DeScioli, & Fein, 2012)。更为重要的是,近年来国内食品安全问题日益突出,那些在食品安全问题上缺乏职业道德的商家受到了社会的强烈谴责。因此,我们有理由猜测道德判断的故事情境可能会影响实验结果,人们对于朋友关系和买卖关系的道德情境有着不同的谴责程度,而这种差别又可能会与刺激效应产生交互作用。实验 1 的结果显示,在中性信念条件下,人们对于买卖关系情境下的道德故事谴责程度比朋友关系情境下的道德故事谴责程度更低。而且,在负性信念条件下的买卖关系情境,TPJ 区域受到右正左负 tDCS 刺激后,被试对道德故事的谴责程度比刺激前显著更低。在实验 2 中我们同样发现道德情境的作用,TPJ 区域受到左正右负刺激下导致被试更多依赖信念动机进行道德判断的结果与道德

情境显著相关,特别是在伤人成功和伤人未遂条件下。以上实验结果都表明,当被试的 TPJ 区域受到 tDCS 刺激后,故事中行为人的信念动机对于道德判断的作用会依赖于社会情境的内容。

此外,被试在做出道德判断时的决策时间数据也可以在一定程度上印证本实验的主结果。我们发现,当被试的 TPJ 区域受到左正右负的 tDCS 刺激后,他们在涉及买卖关系的道德情境中,面对伤人成功和伤人未遂条件时的决策时间显著变少。我们因而推断,由于 TPJ 区域受到左正右负的刺激,人们根据故事行为人的意图动机做出道德判断的能力变弱,所以这些被试在面对伤人成功和伤人未遂条件时,会更加依赖于故事结果直接做出道德判断,如此决策变得更加容易,决策时间也就变得更少。

之前有很多研究已经证实左右侧 TPJ 区域在“心智理论”神经结构中所扮演的重要作用,以及这一区域的神经活动与人们对他人行为动机的理解之间的相关性(Ciaramidaro et al., 2007; Centelles, Assaiante, Etchegoyhen, Bouvard, & Schmitz, 2011; Herman et al., 2007; Aichhorn et al., 2009)。近年来的脑成像研究也表明,双侧 TPJ 的功能在于解码和整合信念意图信息(Young and Saxe, 2008),更为直接的证据来自于神经病学的案例,左侧 TPJ 区域脑损伤的病人表现出了明显的无法识别信念意图的情况(Samson, Apperly, Chiavarino, & Humphreys, 2004)。类似于脑损伤案例的思路,Young, Camprodon 等(2010)利用 TMS 暂时抑制了被试 RTPJ 区域的神经活动,从而得到了右侧 TPJ 区域与整合信念意图信息能力之间的因果关系。

虽然以往研究分别发现了左右侧 TPJ 区域都可能与道德判断中心理状态归因能力有所关联,但有关双侧 TPJ 区域在整合信念意图信息上共同发挥的作用却并不明晰。本研究通过 tDCS 手段可以实现对双侧 TPJ 区域的刺激或抑制,以稳健地考察双侧 TPJ 区域的神经活动对道德判断中心理状态归因能力的共同作用。我们的实验结果发现,当人们在处理信念意图信息时,左右侧 TPJ 区域可能是协同互动、共同发挥作用的。当我们在实验中激活被试右侧 TPJ 并限制左侧 TPJ 时,人们对于意图动机的识别判断能力变弱;而当我们在实验中限制被试右侧 TPJ 并激活左侧 TPJ 时,人们对于意图动机的识别判断能力变强。当然,左右两侧 TPJ 区域究竟是如何共同协作发挥作用,大脑整合意图动机信息的内在神经机制具体是怎样工作的,还需要未来进一步

配合神经成像证据予以揭示。

本研究虽为双侧 TPJ 在整合信念意图信息上的共同作用提供了重要证据,但目前确实无法区分是右侧 TPJ 神经活动的被干扰还是左侧 TPJ 神经活动的被干扰,导致了被试在道德判断中的决策发生改变,也无法说明左右侧 TPJ 区域在整合信念意图信息上哪一侧起的作用更大。为了进一步探究以上问题,我们正在进行的研究是通过单侧 tDCS 刺激方法,只刺激/抑制右侧 TPJ 区域或只刺激/抑制左侧 TPJ 区域,以观察被试在道德判断中有关信念意图故事条件下的谴责程度是否发生改变,从而得到右侧 TPJ 区域或左侧 TPJ 区域分布单独在整合信念意图信息上的作用。

在日常的道德判断中,我们不仅是根据行为所造成的结果做出裁定,还通常需要考虑行为背后人的动机与意图。尤其是在伤人未遂与意外伤人事件中,我们的谴责程度反映了道德判断中心理状态的归因,反映了事件结果与事件动机分别带来的影响,而这些又都依赖于我们大脑 TPJ 区域的神经活动。因此,未来可能的研究方向会是通过探索现实生活中人们在做出道德判断时,整合信念意图信息的能力若受到外界干扰(情境、舆论、场景等),TPJ 区域的神经活动是否同时也相应地发生了改变,从而为道德判断的结果提供神经科学意义上的解释。

参 考 文 献

- Aichhorn, M., Perner, J., Weiss, B., Kronbichler, M., Staffen, W., & Ladurner, G. (2009). Temporo-parietal junction activity in theory-of-mind tasks: Falseness, beliefs, or attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(6), 1179–1192.
- Andrews, S. C., Hoy, K. E., Enticott, P. G., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: The effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*, 4(2), 84–89.
- Baird, J. A., & Moses, L. J. (2001). Do preschoolers appreciate that identical actions may be motivated by different intentions? *Journal of Cognition and Development*, 2(4), 413–448.
- Boggio, P. S., Campanhã, C., Valasek, C. A., Fecteau, S., Pascual-Leone, A., & Fregni, F. (2010). Modulation of decision-making in a gambling task in older adults with transcranial direct current stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 31(3), 593–597.
- Boggio, P. S., Khoury, L. P., Martins, D. C., Martins, O. E., De Macedo, E. C., & Fregni, F. (2009). Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on a visual recognition memory task in Alzheimer disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 80(4), 444–447.
- Borg, J. S., Hynes, C., van Horn, J., Grafton, S., & Sinnott-Armstrong, W. (2006). Consequences, action, and intention as factors in moral judgments: An fMRI investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 803–817.
- Casebeer, W. D. (2003). Moral cognition and its neural constituents. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 840–847.
- Centelles, L., Assaiante, C., Etchegoyhen, K., Bouvard, M., & Schmitz, C. (2013). From action to interaction: Exploring the contribution of body motion cues to social understanding in typical development and in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(5), 1140–1150.
- Ciaramidaro, A., Adenzato, M., Enrici, I., Erk, S., Pia, L., Bara, B. G., & Walter, H. (2007). The intentional network: How the brain reads varieties of intentions. *Neuropsychologia*, 45(13), 3105–3113.
- Cushman, F. (2008). Crime and punishment: Distinguishing the roles of causal and intentional analyses in moral judgment. *Cognition*, 108(2), 353–380.
- Cushman, F., Young, L., & Hauser, M. (2006). The role of conscious reasoning and intuition in moral judgment: Testing three principles of harm. *Psychological Science*, 17(12), 1082–1089.
- Fecteau, S., Knoch, D., Fregni, F., Sultani, N., Boggio, P., & Pascual-Leone, A. (2007). Diminishing risk-taking behavior by modulating activity in the prefrontal cortex: A direct current stimulation study. *The Journal of Neuroscience*, 27(46), 12500–12505.
- Fecteau, S., Pascual-Leone, A., Zald, D. H., Liguori, P., Théoret, H., Boggio, P. S., & Fregni, F. (2007). Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making. *The Journal of Neuroscience*, 27(23), 6212–6218.
- Gan, T., Li, W. Q., Tang, H. H., Lu, X. P., Li, X. L., Liu, C., & Luo, Y. J. (2013). Exciting the right temporo-parietal junction with transcranial direct current stimulation influences moral intention processing. *Acta Psychologica Sinica*, 45(9), 1004–1014.
- [甘甜, 李万清, 唐红红, 陆夏平, 李小隼, 刘超, 罗跃嘉. (2013). 经颅直流电刺激右侧颞顶联合区对道德意图加工的影响. *心理学报*, 45(9), 1004–1014.]
- Greene, J. (2003). From neural 'is' to moral 'ought': What are the moral implications of neuroscientific moral psychology? *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 846–850.
- Greene, J., & Haidt, J. (2002). How (and where) does moral judgment work? *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 517–523.
- Greene, J. D., Nystrom, L. E., Engell, A. D., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural bases of cognitive conflict and control in moral judgment. *Neuron*, 44(2), 389–400.
- Greene, J. D., Sommerville, R. B., Nystrom, L. E., Darley, J. M., & Cohen, J. D. (2001). An fMRI investigation of emotional engagement in moral judgment. *Science*, 293(5537), 2105–2108.
- Harenski, C. L., & Hamann, S. (2006). Neural correlates of regulating negative emotions related to moral violations. *NeuroImage*, 30(1), 313–324.
- Herman, G. E., Butter, E., Enrile, B., Pastore, M., Prior, T. W., & Sommer, A. (2007). Increasing knowledge of *PTEN* germline mutations: Two additional patients with autism and macrocephaly. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 143A (6), 589–593.
- Hsu, M., Anen, C., & Quartz, S. R. (2008). The right and the good: Distributive justice and neural encoding of equity and efficiency. *Science*, 320(5879), 1092–1095.
- Jacobson, L., Goren, N., Lavidor, M., & Levy, D. A. (2012). Oppositional transcranial direct current stimulation (tDCS) of parietal substrates of attention during encoding modulates

- episodic memory. *Brain Research*, 1439, 66–72.
- Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems. *NeuroImage*, 34(4), 1600–1611.
- Kliemann, D., Young, L., Scholz, J., & Saxe, R. (2008). The influence of prior record on moral judgment. *Neuropsychologia*, 46(12), 2949–2957.
- Knoch, D., Gianotti, L. R. R., Pascual-Leone, A., Treyer, V., Regard, M., Hohmann, M., & Brugger, P. (2006). Disruption of right prefrontal cortex by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation induces risk-taking behavior. *The Journal of Neuroscience*, 26(24), 6469–6472.
- Koster-Hale, J., Saxe, R., Dungan, J., & Young, L. L. (2013). Decoding moral judgments from neural representations of intentions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(14), 5648–5653.
- Krebs, D. L., Vermeulen, S. C. A., Carpendale, J. I., & Denton, K. (2014). Structural and situational influences on moral judgment: The interaction between stage and dilemma. In W. M. Kurtines & J. L. Gewirtz (Eds.), *Handbook of moral behavior and development* (Vol. 1, pp. 139–169). New York: Psychology Press.
- Kurzban, R., DeScioli, P., & Fein, D. (2012). Hamilton vs. Kant: Pitting adaptations for altruism against adaptations for moral judgment. *Evolution and Human Behavior*, 33(4), 323–333.
- Ma, H. K. (1989). Moral orientation and moral judgment in adolescents in Hong Kong, Mainland China, and England. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 20(2), 152–177.
- Mai, X., Zhang, W., Hu, X., Zhen, Z., Xu, Z., Zhang, J., & Liu, C. (2016). Using tDCS to explore the role of the right temporo-parietal junction in theory of mind and cognitive empathy. *Frontiers in Psychology*, 7, 380.
- Moll, J., & Schulkin, J. (2009). Social attachment and aversion in human moral cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(3), 456–465.
- Luo, Y. J., Li, W. Q., Peng, J. X., & Liu, C. (2013). The neurocognitive mechanism of moral judgment. *Journal of Southwest University (Social Sciences Edition)*, 39(3), 81–86.
- [罗跃嘉, 李万清, 彭家欣, 刘超. (2013). 道德判断的认知神经机制. *西南大学学报: 社会科学版*, 39(3), 81–86.]
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), 148–158.
- Ruby, P., & Decety, J. (2003). What you believe versus what you think they believe: A neuroimaging study of conceptual perspective-taking. *European Journal of Neuroscience*, 17(11), 2475–2480.
- Ruff, C. C., Ugazio, G., & Fehr, E. (2013). Changing social norm compliance with noninvasive brain stimulation. *Science*, 342(6157), 482–484.
- Samson, D., Apperly, I. A., Chiavarino, C., & Humphreys, G. W. (2004). Left temporoparietal junction is necessary for representing someone else's belief. *Nature Neuroscience*, 7(5), 499–500.
- Saxe, R., & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people: The role of the temporo-parietal junction in “theory of mind”. *NeuroImage*, 19(4), 1835–1842.
- Saxe, R., Tzelnic, T., & Carey, S. (2007). Knowing who dunnit: Infants identify the causal agent in an unseen causal interaction. *Developmental Psychology*, 43(1), 149–158.
- Sellaro, R., Güroğlu, B., Nitsche, M. A., van den Wildenberg, W. P. M., Massaro, V., Durieux, J., ... Colzato, L. S. (2015). Increasing the role of belief information in moral judgments by stimulating the right temporoparietal junction. *Neuropsychologia*, 77, 400–408.
- Shultz, T. R., Wright, K., & Schleifer, M. (1986). Assignment of moral responsibility and punishment. *Child Development*, 57, 177–184.
- Smetana, J. G., Campione-Barr, N., & Metzger, A. (2006). Adolescent development in interpersonal and societal contexts. *Annual Review of Psychology*, 57, 255–284.
- Valdesolo, P., & DeSteno, D. (2006). Manipulations of emotional context shape moral judgment. *Psychological Science*, 17(6), 476–477.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., ... Zilles, K. (2001). Mind reading: neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage*, 14(1), 170–181.
- Woolfolk, R. L., Doris, J. M., & Darley, J. M. (2006). Identification, situational constraint, and social cognition: Studies in the attribution of moral responsibility. *Cognition*, 100(2), 283–301.
- Xie, X. Y., & Luo, Y. J. (2009). The role of emotion in moral judgment: Evidence from cognitive neuroscience. *Advances in Psychological Science*, 17(6), 1250–1256.
- [谢嘉瑶, 罗跃嘉. (2009). 道德判断中的情绪因素——从认知神经科学的角度进行探讨. *心理科学进展*, 17(6), 1250–1256.]
- Ye, H., Chen, S., Huang, D. Q., Zheng, H. L., Jia, Y. M., & Luo, J. (2015). Modulation of neural activity in the temporoparietal junction with transcranial direct current stimulation changes the role of beliefs in moral judgment. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 659.
- Young, L., Camprodon, J. A., Hauser, M., Pascual-Leone, A., & Saxe, R. (2010). Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(15), 6753–6758.
- Young, L., Cushman, F., Hauser, M., & Saxe, R. (2007). The neural basis of the interaction between theory of mind and moral judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(20), 8235–8240.
- Young, L., Dodell-Feder, D., & Saxe, R. (2010). What gets the attention of the temporo-parietal junction? An fMRI investigation of attention and theory of mind. *Neuropsychologia*, 48(9), 2658–2664.
- Young, L., & Koenigs, M. (2007). Investigating emotion in moral cognition: A review of evidence from functional neuroimaging and neuropsychology. *British Medical Bulletin*, 84(1), 69–79.
- Young, L., & Saxe, R. (2008). The neural basis of belief encoding and integration in moral judgment. *NeuroImage*, 40(4), 1912–1920.
- Young, L., & Saxe, R. (2009). An FMRI investigation of spontaneous mental state inference for moral judgment. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1396–1405.
- Young, L., Scholz, J., & Saxe, R. (2011). Neural evidence for “intuitive prosecution”: The use of mental state information for negative moral verdicts. *Social Neuroscience*, 6(3), 302–315.

Modulating the activities of right and left temporo-parietal junction influences the capability of moral intention processing: A transcranial direct current stimulation study

LUO Jun¹; YE Hang^{1,2}; ZHENG Haoli¹; JIA Yongmin²; CHEN Shu²; HUANG Daqiang²

(¹ School of Economics, Center for Economic Behavior and Decision-making (CEBD), Neuro & Behavior EconLab (NBEL), Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou, 310018, China) (² College of Economics and Interdisciplinary Center for Social Sciences (ICSS), Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract

Judgments about whether an action is morally right or wrong typically depend on our capacity to infer the actor's beliefs and the outcomes of the action. Prior neuroimaging studies have found that mental state (e.g., beliefs, intentions) attributions for moral judgment involve a complex neural network including the temporoparietal junction (TPJ). However, neuroimaging studies cannot demonstrate a direct causal relationship between the activity of this brain region and its role in mental state attribution for moral judgment.

In the current study, we aimed to provide evidence of a direct link between the neural and behavioral results through the application of transcranial direct current stimulation (tDCS) over the bilateral TPJ of our participants. In the experiment 1, each participant was required to complete two similar tasks of moral judgment before and after receiving tDCS. We studied whether tDCS over the right TPJ and left TPJ altered participants' mental state attribution for moral judgment. The results indicated that improving the activity of the right TPJ and restraining the activity of the left TPJ decreased the role of actor's beliefs in moral judgments and led to an increase in the dependence of the participants' moral judgments on the action's consequences.

In the experiment 2, the participants were randomly assigned to one of three stimulation treatments (right anodal/left cathodal tDCS, left anodal/right cathodal tDCS, or sham stimulation). We found that enhancing the excitability of the left TPJ as well as inhibiting the right TPJ using tDCS could strengthen the role of beliefs and intentions in moral judgment, extending the function of the left TPJ in moral judgment. The effect of enhancing the role of beliefs in moral judgment highly depended on contextual settings, demonstrating that the degree of the right TPJ and left TPJ's role in the integration of beliefs in moral judgment could be various across different scenario types.

These results were robust in the case of scenarios involving business relationships. We also found that moral judgment measured by the condemnation ratings of participants were unaffected in all four moral conditions when applying anodal stimulation over the right TPJ and cathodal stimulation over the left TPJ, which is consistent with previous tDCS findings that enhancing the excitability of the right TPJ does not affect the attribution of mental states in judgment tasks. We also found that the participants exhibited reduced reaction times both in the cases of intentional harms and attempted harms after receiving right cathodal/left anodal tDCS over the TPJ. These findings inform and extend the current neural models of moral judgment and moral development typically in developing people and in individuals with neurodevelopmental disorders such as autism.

Key words moral judgment; intention; consequence; right and left temporo-parietal junction; transcranial direct current stimulation