

经颅直流电刺激右侧颞顶联合区对道德意图加工的影响^{*}

甘 甜^{1,2} 李万清² 唐红红² 陆夏平² 李小隼² 刘 超² 罗跃嘉³

(¹浙江理工大学心理系, 杭州 310018) (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)

(³深圳大学情绪与社会认知科学研究所, 深圳 518060)

摘 要 对行为意图的理解是人类进行道德判断的重要依据, 大量研究表明, 右侧颞顶联合区是意图加工的关键脑区。为考察该脑区在道德判断中的重要作用, 采用经颅直流电刺激技术阳极刺激右侧颞顶联合区, 探讨促进该脑区的活动对被试在道德判断中意图及相关信息加工的影响。结果发现与假刺激条件相比, 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, 证明促进右侧颞顶联合区的激活能影响道德判断中的意图加工, 尤其在意图与结果产生冲突的条件下效应更加显著。

关键词 道德判断; 意图; 结果; 右侧颞顶联合区; 经颅直流电刺激

分类号 B844; B845

1 前言

道德是区分是非对错的信念体系和行为规范(田学红, 杨群, 张德玄, 张烨, 2011), 它不仅是传统社会心理学和现代道德心理学的基本主题, 更在现实生活中起着重要作用。道德判断是主体根据自己已有的道德价值观念、社会的道德原则和道德规范, 对自身或他人的思想观念和实践活动所进行的善恶价值断定, 它是人类道德要素中最重要的成份, 是道德情感、意志和行动的前提(Greene & Haidt, 2002; Haidt, 2008; 陈建兵, 黄富峰, 2006)。道德判断与道德相关的心理过程和其他心理过程一样, 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)。近年来, 认知神经科学研究发现道德判断加工中, 与情绪加工有关的脑区广泛激活, 包括额中回、脑岛和后扣带回等(Funk & Gazzaniga, 2009; Greene, Sommerville, Nystrom, Darley, & Cohen, 2001; Hsu, Anen, & Quartz, 2008; Moll & Schulkin, 2009)。但这并不意味着道德加工

网络就只涉及与情绪有关的脑活动, 事实上, 已有研究忽略了道德判断的一个重要方面, 就是意图信息加工及其与相关信息的整合。在日常生活中, 当我们对某种行为做出评价时, 我们不仅会考虑它导致的结果, 更会考虑到行为人自身的想法和观点(Cushman, Young, & Hauser, 2006; Young, Cushman, Hauser, & Saxe, 2007; Young & Koenigs, 2007)。在法律条款中, 具有“犯罪意图”是判定“犯罪行为”的基本要素之一, 除非个人意图不轨, 否则即使其行为造成他人受伤, 在法律上也将采取从轻处理。和法律一样, 成熟的道德判断是依据他人心理状态(如意图、信念等)做出的, 需要编码和整合他人意图及相关信息而做出合理的判断。发展心理学研究发现, 年幼儿童因为不能充分且灵活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, 导致他们将道德判断的主要依据转向了行为结果, 而非意图(Young, Camprodon, Hauser, Pascual-Leone, & Saxe, 2010; Young, Nichols, & Saxe, 2010; Zelazo, Burack, Benedetto, & Frye, 1996)。

收稿日期: 2012-10-29

^{*} 国家自然科学基金重大研究计划培育项目(91132704)、国家 973 计划项目(2011CB711000, 2013CB837300)、国家社科基金重大项目(12&ZD228)、国家自然科学基金面上项目(31170971)、国家自然科学基金重大国际合作项目(61210010)资助。

通讯作者: 刘超, E-mail: liuchao@bnu.edu.cn; 罗跃嘉, E-mail: luoyj@bnu.edu.cn

从行为意图和结果的交互作用出发, Young 等人(2007)设计了道德判断的意图-结果任务,旨在考察道德判断不同阶段中对行为人意图和结果的加工机制。该方法通过文字陈述故事的形式向被试呈现,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”包含了对故事发生的情景介绍,“预示”包含了对结果的预言信息,“意图”包含了故事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和产生的结果。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”分别包含了负性和中性两个水平,两变量 2×2 的交互作用构成了四种实验条件: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)。临床研究也发现了类似的结果,如孤独症患者被证实在加工他人心理状态方面具有缺陷,研究发现他们判断意外伤人行为比正常人更加严厉(Moran et al., 2011),而腹内侧前额叶受损病人则给予伤人未遂行为更高的允许度评价(Young, Bechara et al., 2010),这些研究表明对他人心理状态(意图信息)加工的缺陷会严重影响人们的道德判断。

在神经机制方面,功能磁共振成像(function magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现在意图-结果道德判断任务中右侧颞顶联合区(the right temporo-parietal junction, RTPJ)显著激活(Young et al., 2007; Young & Saxe, 2008; Young & Saxe, 2009; Young, Scholz, & Saxe, 2011)。研究表明,双侧颞顶联合区对知觉到他人的行为意义和心理状态具有独特作用(Carter, Bowling, Reeck, & Huettel, 2012)。心理理论的研究发现左侧颞顶联合区(the left temporo-parietal junction, LTPJ)不仅在加工心理状态信息(如错误信念)的时候激活,在加工非心理信息(如错误信号)的时候也有高度激活,而 RTPJ 脑

区则只在被试加工心理状态信息的时候高度激活,该脑区的血氧水平依赖(Blood Oxygenation Level Dependent, BOLD)信号强度显著高于被试加工他人身体信息或非人类信息时的信号强度(Perner, Aichhorn, Kronbichler, Staffen, & Ladurner, 2006; Saxe & Kanwisher, 2003)。由此证明, RTPJ 区域选择性的只与心理理论,即人的想法、观念信息的加工有关,代表了对他人意图和信念等信息的编码和整合加工。在道德判断研究领域,Young 等人(2007)采用意图-结果道德判断任务发现在被试加工意图信息时, RTPJ 的激活显著高于基线水平,再次证明该脑区具有编码意图、信念等他人心理状态的功能,也首次在神经机制水平上证明了在道德判断中与心理理论相关的信念意图加工起着非常关键的作用。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 et al., 2011)。

在此基础上,Young 等人 2010 年在 PANAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)杂志上发表论文,采用经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)在线和离线两种方式干扰 RTPJ 的激活,发现了一致的 TMS 干扰效应: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, Camprodon et al., 2010)。由此可见, RTPJ 的活动在意图-结果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)方法直接研究了对大脑皮层的直接刺激是否能影响人的高级社会认知行为,为道德和社会认知的研究开辟了一条崭新的研究道路。

以往研究揭示了 RTPJ 在道德判断加工中具有重要作用,而采用 TMS 干扰 RTPJ 的激活会降低意图加工在道德判断中的作用(Young, Camprodon et al., 2010)。但是,在干预研究中,与抑制效应相比,我们更希望得到的是积极、正性的效应,即能够通过促进相关脑区的活动,使我们的行为和反应向更优化的方向改变。因此,为了给实际的干预研究提供实证支持,也为了更好地理解和证明 RTPJ 在意

图-结果道德判断中的重要作用,我们提出以下问题:如果促进 RTPJ 脑区的激活,道德判断中意图加工的作用是否会增强?为了回答这个问题,我们首次采用经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)技术来增强 RTPJ 区域的皮质兴奋性,以在行为水平上观测其对被试在进行道德判断过程中意图及相关信息加工的影响。

经颅直流电刺激是一种非侵袭性、利用微弱电流(1~2 mA)调节大脑皮质神经细胞活动的技术,它由阳极和阴极两个电极片构成,以微弱极化直流电作用于大脑皮质。在 20 世纪 90 年代初,科学家就开始研究直流电刺激的效应(Bindman, Lippold, & Redfearn, 1964; Elsberg, 1917),然而直到 20 世纪 90 年代末,科学家才开始尝试考察直流电刺激对人类中枢神经系统的影响。Priori, Berardelli, Rona, Accornero 和 Manfredi (1998)首次考察了直流电刺激对运动皮层的影响,并发现微弱的阴极刺激能够抑制运动皮层的兴奋性。之后 Nitsche 和 Paulus (2000)发现了 tDCS 刺激对运动皮层兴奋性的影响具有极性特点,阳极刺激(anodal stimulation)使运动皮层的兴奋性提高,而阴极刺激(cathodal stimulation)则会降低运动皮层的兴奋性。进一步研究发现 tDCS 的效应取决于刺激的强度和刺激持续的时间,如果刺激的时间持续足够长,刺激结束后皮层的兴奋性的改变可持续达 1 个小时(Jacobson, Koslowsky, & Lavidor, 2012)。tDCS 对皮质兴奋性调节的基本机制是依据刺激的极性不同引起静息膜电位超极化或者去极化的改变,其后效应机制可能类似于突触的长时程易化,大量研究认为 tDCS 的作用机制既与膜的极化有关也与突触的可塑性调节有关(Nitsche & Paulus, 2000; Stagg & Nitsche, 2011)。目前,大量运动领域的研究都证实了 tDCS 阳极刺激的兴奋作用和阴极刺激的抑制作用。除了运动领域,研究者还开始将 tDCS 技术应用到认知领域的研究中:Kincses, Antal, Nitsche, Bartfai 和 Paulus (2004)发现采用 tDCS 阳极刺激左侧前额叶脑区能提高被试的概率分类学习成绩;Bolognini 等人发现 tDCS 阳极刺激右侧顶叶脑区,能够有效提高被试的视觉空间搜索能力(Bolognini, Fregni, Casati, Olgiati, & Vallar, 2010; Bolognini, Olgiati, Rossetti, & Maravita, 2010);Stone 和 Tesche (2009)采用 tDCS 阳极和阴极刺激左侧后顶叶皮层区,发现刺激后 20min 内,阴极刺激降低了被试的注意转换能力,而阳极刺激则降低了整体和局部注意之间

的转换速度。除了较基础的知觉和注意研究,在高级和复杂的认知研究领域,近年来也涌现出大量采用 tDCS 技术的研究:Boggio, Zaghi 和 Fregni (2009)考察了 tDCS 刺激对情绪调节和疼痛缓解的影响,结果发现阳极刺激背外侧前额叶区域能够显著降低被试的不适感和疼痛感。他们还发现采用 tDCS 阳极和阴极刺激分别刺激左侧和右侧背外侧前额叶,能够显著影响被试在赌博任务中做出风险决策的倾向,并与被试年龄因素有显著交互作用(Boggio et al., 2010)。有研究发现 tDCS 阳极刺激左背外侧前额叶能够显著提高工作记忆(Andrews, Hoy, Enticott, Daskalakis, & Fitzgerald, 2011),而阴极刺激右下顶叶区域则会损害被试在再认实验中的工作记忆(Berryhill, Wencil, Branch Coslett, & Olson, 2010)。这些研究表明 tDCS 是一种非侵袭性的考察高级认知加工中相关脑区作用的有效技术手段。Jacobson 等人(2012)采用元分析的方法总结了近年来运动和认知领域的 tDCS 研究,结果发现在运动领域,阳极兴奋和阴极抑制效应都比较稳定,而在认知领域,阳极刺激兴奋效应比阴极刺激抑制效应更加稳定,只有少量研究报告了显著的阴极抑制效应。研究者认为这可能与认知任务的复杂性有关:首先, tDCS 刺激的效应是由神经元最初的激活状态决定的(Silvanto, Muggleton, & Walsh, 2008),在认知任务中,相应区域的神经元已被高度激活,想要抑制需要付出更多的干扰,而在运动研究中,相应区域的神经元初始状态并未高度激活,因此其抑制效应更容易实现;其次,许多认知功能并非由单一脑区完成,当一侧脑区受到抑制时,对侧脑区可能会发挥一定的补偿作用,从而消弱了 tDCS 的抑制效应。因此,在认知功能研究领域,考察 tDCS 的阳极刺激效应更加稳定(Jacobson et al., 2012)。结合本研究的目的,我们主要关注阳极刺激提高 RTPJ 皮质兴奋性对意图加工的影响。

虽然已有许多采用 tDCS 刺激考察特定脑区在认知加工中作用的研究,但至今还没有研究采用该技术考察特定脑区在道德这种高级社会认知过程加工中的作用。本研究旨在采用经典的意图-结果道德判断任务,通过 tDCS 阳极刺激提高 RTPJ 的皮质兴奋性,在行为水平上验证意图加工在道德判断中的重要作用,在神经机制上验证 RTPJ 脑区在道德判断加工中的核心作用。基于已有研究,本研究假设阳极刺激 RTPJ 脑区会提高意图信念加工在道德判断中的作用,但在此假设下可能会有两种不同

的结果预期: 第一, 与已有的有关 tDCS 阳极刺激语言加工相关脑区的结果类似(Fiori et al., 2011; Floel, Rosser, Michka, Knecht, & Breitenstein, 2008), RTPJ 皮质兴奋性的提高会导致被试加工意图信息的速度加快, 表现为反应时的缩短; 第二, RTPJ 并不是一个粗略地加工意图信息的脑区, 而是一个具有编码、整合意图及相关信息和再次评价等高级功能的脑区(Saxe, Whitfield-Gabrieli, Scholz, & Pelphrey, 2009; Young & Saxe, 2008; Young & Saxe, 2009), Young 等人认为该脑区与道德判断中意图和信念信息的输入有关(Young, Camprodon et al., 2010), 因此, RTPJ 皮质兴奋性的提高会导致被试更加深入、详尽地考虑他人的想法、意图和信念, 这种更加丰富和深入的活动导致阳极刺激条件下反应时相对控制组延长。

2 方法

2.1 被试

被试为 18 名在校大学生(男女各半), 平均年龄是 21.7 ± 1.7 岁(平均值 $\pm$ 标准差)。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, 实验后给予一定的报酬。

2.2 实验材料

采用 Young 等人(2007)编写的 32 个伤人意图-

结果故事(见图 1), 每个故事分为背景、预示、意图、行为和结果 4 个部分。无伤人、伤人未遂、意外伤人和伤人成功 4 种条件下各有 8 个故事, 每个故事的字数、关键词等相互匹配, 情节不重复。所有材料分为两组, 一组用于阳极刺激(anodal stimulation), 另一组用于假刺激(sham stimulation), 分配被试间平衡。为了考察 tDCS 刺激对阅读速度的影响, 对两组故事背景信息的字数进行了统计检验, 未发现显著差异, $t(30) = -1.02, p = 0.31$ 。

2.3 实验程序

本实验为 2 (tDCS 刺激: 阳极刺激和假刺激) $\times$ 2 (意图: 负性和中性) $\times$ 2 (结果: 负性和中性) 的被试内设计。

每名被试接受 2 次 tDCS 刺激(一次阳极刺激, 一次假刺激), 时间间隔 1 周, 顺序被试间平衡。每次实验中被试在 tDCS 刺激结束后立刻完成意图-结果道德判断任务。任务包括预实验和正式实验部分, 在预实验中被试熟悉试验流程, 正式实验包括 16 次试验, 时间大约 10 min。试验流程见图 2, 依次向被试呈现背景、预示、意图、行为和结果信息, 被试看完每个部分后按键刺激消失。为了控制实验时间并使被试保持注意力集中, 如果被试没有按键, 背景信息呈现 15 sec 后消失, 预示、意图、行为和结果信息呈现 6 sec 后消失, 最后呈现评价提示, 要求被试按 1 (完全不必谴责)至 7 (最多的谴责)数字键评价故事主角的行为应受到多大程度的谴责

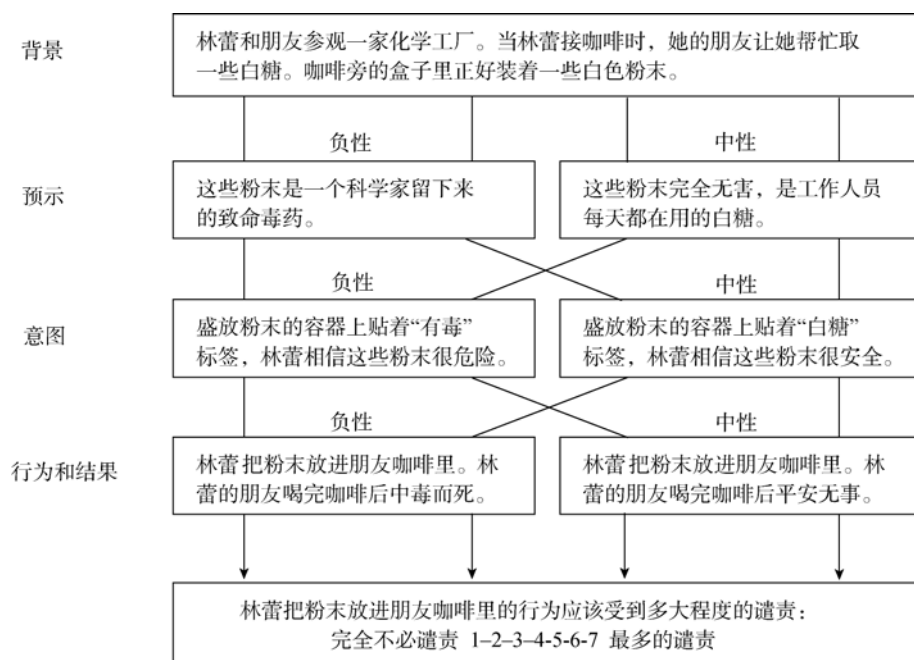


图 1 实验材料示意图

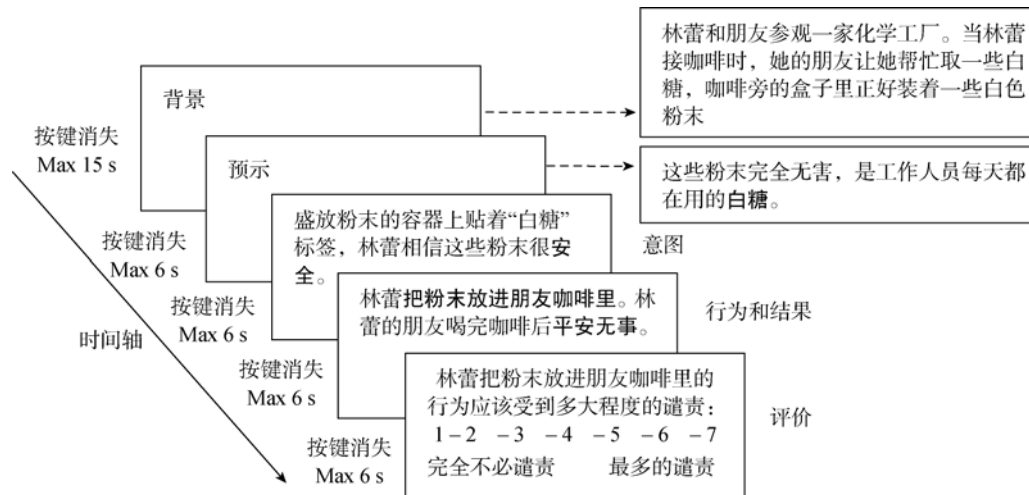


图 2 试验流程示例

(Young, Bechara et al., 2010)。采用 E-prime 软件编写程序并记录被试做出谴责程度判断的评分及反应时, 每次实验结束后询问被试的感受并要求其填写《正性负性情绪量表》(Watson, Clark, & Tellegen, 1988)。

2.4 经颅直流电刺激参数及方法

采用 DC-STIMULATOR PLUS 刺激仪器(德国 neuroConn 公司)进行 tDCS 刺激, 电极片面积为 $5\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ 。根据 EEG10-20 系统扩展的坐标和相关磁共振成像定位研究(Jurcak, Tsuzuki, & Dan, 2007), 用胶带将阳极电极固定放置在头皮右侧 CP6 和 P6 电极点中间位置(此位置覆盖了前人 fMRI 研究中报告的 RTPJ 坐标[54, -59, 22] (Young et al., 2007; Young & Saxe, 2009), 见图 3), 参考电极固定在左侧脸颊。根据前人的文献研究, 我们的参数设定为在阳极刺激条件下, 采用 1.5 mA 的微弱直流电极刺激被试 20 min (已有 tDCS 研究通常刺激 5~20 min, 有研究报告刺激 5 min 已能有效诱发出 tDCS 刺激效应(Boggio et al., 2009), 为保证目标脑区皮

质兴奋性的充分激活(Jurcak et al., 2007; Cerruti & Schlaug, 2009), 本研究选择了 20 min 的刺激时间); 而在假刺激条件下, 采用 1.5 mA 的微弱直流电刺激只刺激被试 15 sec, 之后刺激仪停止刺激(实际电极戴在被试头上时间仍为 20 min, 不告知被试接受的是哪种条件刺激, 被试不知道刺激 15 sec 后已停止, 单盲设计), 两种刺激条件的 fade in 和 fade out 时间都为 15sec (Cerruti & Schlaug, 2009; Holland et al., 2011; Keeser et al., 2011)。

3 结果

对故事主角行为的谴责度评定采用 2 (tDCS 刺激: 阳极刺激、假刺激) $\times$ 2 (意图: 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(5.86 ± 0.13)显著高于中性意图(3.63 ± 0.14), $F(1, 17) = 147.18, p < 0.001$; 结果主效应显著, 负性结果的谴责度(6.26 ± 0.08)显著高于中性结果(3.24 ± 0.16), $F(1, 17) = 391.17, p < 0.001$; 意图与结果的交互作用显著, $F(1, 17) = 89.81, p < 0.001$, 负性意图下中性结果(即伤人未遂, 4.88 ± 0.24)与负性结果(即伤人成功, 6.84 ± 0.05)的差异显著小于中性意图下中性结果(即无伤人, 1.60 ± 0.16)与负性结果(即意外伤人 5.67 ± 0.16)的差异。其余效应都不显著(见表 1)。

对评价反应时进行方差分析发现 tDCS 刺激主效应显著, $F(1, 17) = 10.74, p < 0.05$, 阳极刺激条件的($1382 \pm 151\text{ ms}$)反应时显著长于假刺激($1664 \pm 146\text{ ms}$)的反应时; 意图主效应不显著, $F(1, 17) = 0.08, p = 0.781$; 结果主效应显著, 负性结果的反应

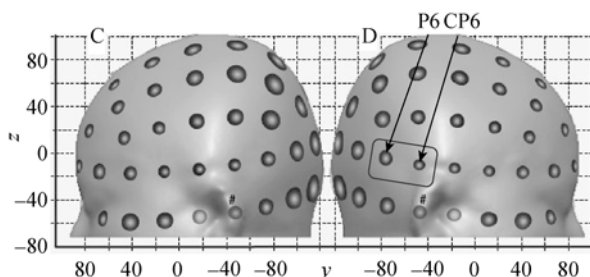


图 3 电极片放置的 RTPJ 位置与其磁共振坐标(MNI coordinates)对应图(Jurcak et al., 2007)

时(1408 ± 129 ms)显著短于中性结果(1638 ± 167 ms)的反应时, $F(1, 17) = 6.65, p < 0.05$; 意图与结果的交互作用显著, $F(1, 17) = 28.08, p < 0.001$ 。对交互作用进行简单效应检验发现负性意图下, 负性结果(即伤人成功, 1082 ± 120 ms)的反应时显著短于中性结果(即伤人未遂, 1940 ± 217 ms)的反应时, 而在中性意图下, 负性结果(即意外伤人, 1733 ± 160 ms)的反应时显著长于中性结果(即无伤人, 1336 ± 151 ms)的反应时。最重要的发现是 tDCS 刺激与意图、结果的交互作用显著, $F(1, 17) = 8.11, p < 0.05$, 简单效应检验发现只在中性意图负性结果(即意外伤人)和负性意图中性结果(即伤人未遂)条件下, 阳极刺激(意外伤人: 1988 ± 204 ms, 伤人未遂: 2187 ± 246 ms)的反应时显著长于假刺激(意外伤人: 1479 ± 169 ms, 伤人未遂: 1693 ± 232 ms)的反应时, 而在中性意图中性结果(即无伤人)和负性意图负性结果(即伤人成功)条件下, 阳极刺激(无伤人: 1348 ± 129 ms, 伤人成功: 1131 ± 133 ms)与假刺激条件(无伤人: 1324 ± 187 ms, 伤人成功: 1032 ± 120 ms)的反应时无显著差异(见图 4)。

表 1 伤人行行为谴责程度评分(平均值±标准差)

刺激类型	中性意图		负性意图	
	中性结果 (无伤人)	负性结果 (意外伤人)	中性结果 (伤人未遂)	负性结果 (成功伤人)
阳极刺激	1.67±0.20	5.79±0.19	4.81±0.28	6.85±0.06
假刺激	1.52±0.17	5.56±0.26	4.95±0.27	6.83±0.07

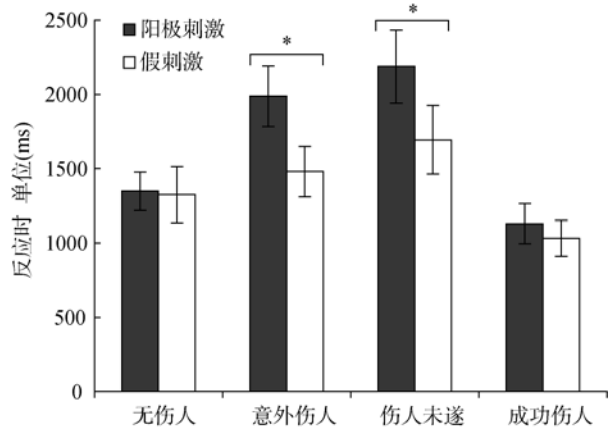


图 4 tDCS 实验伤人行行为评价反应时

实验结束后, 个别被试报告在刺激开始时头皮有微弱的痒刺感, 几分钟后感觉消退, 没有被试报告发现两次实验刺激有所不同。为了排除 tDCS 刺激对被试情绪的影响并进一步验证单盲设计的效

果, 统计比较了两次实验后被试在《正性负性情绪量表》上的评分, 未发现显著差异(见表 2)。为了排除 tDCS 刺激对被试阅读速度的影响, 对阅读故事背景信息的反应时进行了方差分析, 统计没有发现显著的主效应或交互效应($p > 0.1$, 见表 3)。

表 2 两种 tDCS 刺激下被试情绪量表评分(平均值±标准差)

情绪类型	阳极刺激	假刺激	t(17)	p
正性情绪	23.83±9.82	23.83±7.42	0.00	1.000
负性情绪	14.33±3.51	13.83±4.19	-1.09	0.291

表 3 两种 tDCS 刺激下故事背景信息的阅读时间(ms)

刺激类型	中性意图		负性意图	
	中性结果 (无伤人)	负性结果 (意外伤人)	中性结果 (伤人未遂)	负性结果 (成功伤人)
阳极刺激	5284±2673	5844±2641	5236±2144	5741±2276
假刺激	5880±2122	5603±2282	5363±1818	5332±2369

4 讨论

合理的道德判断是基于对诸多因素的综合评估和考虑做出的, 不仅要考虑行为结果的严重程度, 还要考虑行为人的信念意图、过往经历、造成伤害的手段和外部因素(如被强迫、自我防卫)等等(Young, Camprodon et al., 2010)。在本实验中, 我们操控了其中的两个重要因素: 意图和结果, 并证明了用 tDCS 阳极刺激促进 RTPJ 脑区的激活的确能够在行为水平上发现个体道德判断过程中的变化: 阳极刺激 RTPJ 脑区后, 被试对伤人未遂和意外伤人情景做出道德谴责判断的反应时延长, 表明 RTPJ 脑区皮质兴奋性的提高使被试更加深入、详尽地考虑他人的想法、意图和信念, 从而导致整合意图和结果信息的时间增长, 最终做出道德判断的反应时延长。这一结果很好地补充了 Young, Camprodon 等人(2010)年采用 TMS 技术对 RTPJ 进行抑制时的发现, 进一步说明了 RTPJ 在道德意图与结果加工中的核心作用。

Young, Camprodon 等人(2010)提出 RTPJ 脑区的活动会影响道德判断中的信念和意图信息的输入, 而不会影响道德判断加工本身, 在意图-结果道德判断任务中, 意图信息是道德判断的核心依据(Young et al., 2007)。本研究结果支持了这个观点, 在不考虑 tDCS 刺激的条件下, 我们发现了与前人研究一致的意图与结果的交互作用: 伤人未遂与伤

人成功条件之间谴责程度评分的差异显著小于无伤人与意外伤人条件之间的评分差异。也就是说,当行为人有负性伤人意图时,不论其结果如何,被试都给予很多的谴责;而当行为人没有伤人意图时,其行为导致的结果才对谴责程度的评价有较大的影响,相对于中性结果,被试给予负性结果更多的谴责。由此可见,道德判断中,对意图因素的考虑是优先于结果因素的。而在反应时上,意外伤人和伤人未遂条件下的反应时显著地长于无伤人和伤人成功的反应时,表明在意图和结果冲突的条件下,被试需要花费更多的时间来整合两种因素以做出道德判断。除了意图-结果道德判断实验任务,在发展心理学领域,第一个系统研究儿童道德判断发展的心理学家皮亚杰就把意图加工作为划分道德判断发展阶段的重要依据,他把儿童道德判断发展分为前道德判断(2~4岁)、道德实在论(5~7岁)和道德相对论阶段,在前两个阶段中,儿童都是根据行为结果而非意图来做出判断的,例如询问儿童:约翰在不小心的情况下打破了15个杯子,而亨利因为想偷拿碗柜里的果酱吃而碰翻了一个杯子,这两个孩子谁的过失更严重?处于前两个阶段的儿童都会选择约翰,理由是他打破了更多的杯子。而在第三个阶段,儿童能根据行为人的意图和动机来做出判断,即回答亨利的过失更严重,应该受到更多的责罚,因为约翰是无意的,而亨利是因为想偷吃东西才打破杯子(桑标, 2003)。本实验的结果也再次证明在成熟的道德判断中,意图信息是判断的核心依据,意图加工及其与其他信息的整合在道德判断中具有重要作用。

本研究把 RTPJ 作为 tDCS 刺激的目标脑区, RTPJ 位于右侧颞上沟(superior temporal sulcus, STS)上方,研究表明, STS 的激活与各种社会刺激相关,包括人类面孔和身体运动等(Brass, Schmitt, Spengler, & Gergely, 2007; Gobbini, Koralek, Bryan, Montgomery, & Haxby, 2007; Hamilton & Grafton, 2006),而 RTPJ 只选择性的与心理理论,即人的想法、观点信息加工有关(Gobbini et al., 2007; Saxe & Kanwisher, 2003; Saxe et al., 2009)。2003年, Saxe 和 Kanwisher 首次发现只有在被试加工他人信念等心理状态信息时, RTPJ 区域的 BOLD 信号才显著增高,而在被试阅读他人身体信息或非人类信息时, RTPJ 区域的 BOLD 信号水平无显著变化,由此证明该区域只在推理心理状态信息时选择性激活(Saxe & Kanwisher, 2003)。Carter 等人(2012)采用经

济决策任务发现双侧颞顶联合区的激活与被试对对手行为的推理和预测相关,表明颞顶联合区对知觉到他人的行为意义具有特殊作用。Perner 等人(2006)采用错误信念任务和图片材料发现 LTPJ 不仅对错误信念敏感,对错误信号也很敏感,表明 LTPJ 在心理和非心理领域都有较为广泛的加工,而 RTPJ 的激活则选择性地只对错误信念敏感,由此证明 RTPJ 是心理理论的核心脑区,代表了对他人意图、观点和动机的编码和整合加工。在道德判断的研究中, RTPJ 脑区也在被试做出心理归因等加工的时候高度激活(Young et al., 2007; Young & Saxe, 2008; Young et al., 2011)。本研究的结果进一步证实了该脑区在道德判断中的重要作用,在采用 tDCS 阳极刺激该脑区后,被试做出道德判断的反应时显著延长,这与其他领域的 tDCS 刺激实验结果是相似的。例如,在涉及基础认知加工的工作记忆任务中,研究者发现阳极刺激前额叶区域导致被试反应时延长(Marshall, Molle, Siebner, & Born, 2005);而在复杂的社会认知任务中, Priori 等人(2008)发现阳极刺激背外侧前额叶脑区后,与假刺激条件相比,被试在“否认自己实际拥有某物”这种条件下撒谎时反应时延长;与之相一致的是, Karim 等人(2010)发现阴极刺激前额叶区域导致欺骗行为的反应时缩短。因此,本研究以往研究的结果都证明 tDCS 刺激是可以改变被试的反应时的,根据不同脑区的特定功能和不同任务的加工机制,不同区域皮质兴奋性的改变会对任务行为表现产生不同的影响。在本研究中,从信息输入的观点来看,阳极刺激后反应时的延长表明 RTPJ 脑区皮质兴奋性提高后,被试在做出道德判断时输入了更多的信念和意图信息,导致了判断时间的延长。对结果的进一步分析发现只在伤人未遂和意外伤人条件下,阳极刺激的反应时显著长于假刺激条件,而在无伤人和伤人成功条件下没有这种效应。我们认为 tDCS 的阳极刺激对所有条件下的意图加工都有影响,体现在总体反应时的延长上。道德判断实际上反映了个体对所有呈现的道德相关信息中当下最显著突出的信息的权重和考虑(Young, Camprodon et al., 2010)。在本实验任务中,被试在看到结果信息后立刻做出道德判断,结果信息在时间上占有优势。在伤人未遂和意外伤人条件下,意图与结果相互冲突,被试需要提取之前看到的信念信息,并与当下的结果信息相整合,而阳极刺激 RTPJ 脑区后增加了信念信息的输入,从而导致了

冲突的增加,整合时间增长,反应时变长。而在无伤人和成功伤人条件下,意图与结果没有冲突,被试仅需要根据结果就能做出快速的判断,不需要对信念信息和相关信息的整合付出更多的努力,因此没有表现出 tDCS 刺激的效应。与该结果不同的是,Young, Camprodon 等人(2010)采用 TMS 干扰 RTPJ 脑区后,只在伤人未遂条件下发现了刺激效应。这可能与具体的干扰方式以及 RTPJ 的活动时间有关。fMRI 研究发现 RTPJ 在意图-结果道德判断任务中的激活体现在两个阶段:首先是在被试首次阅读材料时,伤人未遂和意外伤人条件下该脑区都有高度激活;其次是在被试做出道德判断时,伤人未遂条件下该脑区有高度激活(Young & Saxe, 2008)。在本研究中,我们采用的是离线提前刺激 RTPJ 脑区,即对这两个加工阶段 RTPJ 区域的活动都产生了广泛的影响,从而导致两种冲突条件下都有显著的 tDCS 刺激效应。Young, Camprodon 等人(2010)也发现如果在线刺激 RTPJ 区域,即只在做出道德判断前进行干扰,伤人未遂条件下的刺激效应会大于意外伤人条件下的效应,而离线刺激下,这种效应之间的差别会缩小,因为在线刺激只是干扰了对伤人未遂条件敏感的道德判断阶段,而离线刺激对两个阶段都有影响。

RTPJ 是道德判断中意图信息加工整合的核心脑区,但它并不是道德判断所涉及的唯一脑区,实际上,它与心理状态归因和道德认知的其他脑区都有密切的联系,例如 LTPJ, 楔前叶, 前额叶中部和背外侧前额叶等(Saxe & Kanwisher, 2003; Young & Dungan, 2012)。其中, LTPJ 和楔前叶是道德判断和高级社会认知加工的重要脑区(Greene & Haidt, 2002; Moll, de Oliveira-Souza, Bramati, & Grafman, 2002; Young & Dungan, 2012), 前额叶中部在情绪任务中广泛激活(Lagopoulos, Hermens, Naismith, Scott, & Hickie, 2012), 而背外侧前额叶也与道德判断、注意加工等过程有密切联系(Johnson, Strafella, & Zatorre, 2007; Kondo, Osaka, & Osaka, 2004)。tDCS 对 RTPJ 的干扰,有可能间接性地影响到其他脑区的活动,从而对本实验的结果形成干扰。但是,本实验的结果发现在无伤人和伤人成功条件下,阳极刺激和假刺激后无论是道德评价还是反应时都没有显著差异,说明道德判断本质上的加工并没有受到影响,排除了 LTPJ、楔前叶等道德判断相关脑区受到干扰的可能。此外,两种刺激后被试的阅读速度和情绪体验并没有显著差异,也排除

了前额叶脑区或语言相关脑区受到干扰的可能。因此,本研究所发现的 tDCS 刺激效应是由 RTPJ 这个关键脑区的皮质兴奋性改变所引起的,行为水平上的效应反映了 RTPJ 脑区的活动在道德判断加工中的重要作用。

不论是法律意义上的对错判断,还是道德意义上的是非区分,都依赖于我们理解和推断行为背后的意图和动机的能力。本研究的结果表明在神经机制上, RTPJ 是这一能力的重要脑区。我们首次尝试使用微弱的经颅直流电刺激技术,考察了关键脑区皮质兴奋性的提高对道德判断这种高级社会认知功能的影响。以往 tDCS 技术主要应用于临床治疗和康复等领域(Nair, Renga, Lindenberg, Zhu, & Schlaug, 2011; Schlaug, Marchina, & Wan, 2011), 本研究的结果表明该技术在正常群体的高级社会认知功能研究领域也有极大的应用价值。将来的研究可进一步考察 tDCS 阴极刺激的抑制作用,或刺激左侧颞顶区、前额区等道德加工相关脑区,结合近红外光学成像、磁共振成像等脑成像技术,综合探索道德判断的神经机制。另外,研究证实许多社会功能有缺陷的人群,如孤独症患者、反社会人格障碍等,在理解他人意图和道德判断加工方面都存在障碍, tDCS 这种非侵入性、无副作用的刺激对这类人群在高级社会认知功能的提高和改善方面将具有积极的应用前景。

5 结论

(1) 意图加工在道德判断中具有重要作用,在意图与结果信息冲突的条件(如伤人未遂和意外伤人)下,被试需要更多的时间整合意图和结果信息以做出合理的道德判断。

(2) 右侧颞顶联合区是意图加工的重要脑区,采用经颅直流电刺激技术提高该脑区的皮质兴奋性后,被试对伤人未遂和意外伤人情景做出道德判断的反应时变长,证明促进该脑区的激活能影响道德判断中意图加工及其与结果信息的整合,且主要体现在意图与结果信息冲突的条件下。

参 考 文 献

- 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.
- Berryhill, M. E., Wencil, E. B., Branch Coslett, H., & Olson, I.

- R. (2010). A selective working memory impairment after transcranial direct current stimulation to the right parietal lobe. *Neuroscience Letters*, 479(3), 312–316.
- Bindman, L. J., Lippold, O. C., & Redfearn, J. W. (1964). The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. *The Journal of Physiology*, 172, 369–382.
- Boggio, P. S., Campanha, 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. *The European Journal of Neuroscience*, 31(3), 593–597.
- Boggio, P. S., Zaghi, S., & Fregni, F. (2009). Modulation of emotions associated with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*, 47(1), 212–217.
- Bolognini, N., Fregni, F., Casati, C., Olgiati, E., & Vallar, G. (2010). Brain polarization of parietal cortex augments training-induced improvement of visual exploratory and attentional skills. *Brain Research*, 1349, 76–89.
- Bolognini, N., Olgiati, E., Rossetti, A., & Maravita, A. (2010). Enhancing multisensory spatial orienting by brain polarization of the parietal cortex. *The European Journal of Neuroscience*, 31(10), 1800–1806.
- Brass, M., Schmitt, R. M., Spengler, S., & Gergely, G. (2007). Investigating action understanding: Inferential processes versus action simulation. *Current Biology*, 17(24), 2117–2121.
- Carter, R. M., Bowling, D. L., Reeck, C., & Huettel, S. A. (2012). A distinct role of the temporal-parietal junction in predicting socially guided decisions. *Science*, 337(6090), 109–111.
- Casebeer, W. D. (2003). Moral cognition and its neural constituents. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 840–846.
- Cerruti, C., & Schlaug, G. (2009). Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1980–1987.
- Chen, J. B., & Huang, F. F. (2006). On moral judgment. *Qilu Journal*, (3), 133–139.
- [陈建兵, 黄富峰. (2006). 论道德判断. *齐鲁学刊*, (3), 133–139.]
- 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.
- Elsberg, C. A. (1917). Experiments on motor nerve regeneration and the direct neurotization of paralyzed muscles by their own and by foreign nerves. *Science*, 45(1161), 318–320.
- Fiori, V., Coccia, M., Marinelli, C. V., Vecchi, V., Bonifazi, S., Ceravolo, M. G., ... Marangolo, P. (2011). Transcranial direct current stimulation improves word retrieval in healthy and nonfluent aphasic subjects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2309–2323.
- Floel, A., Rosser, N., Michka, O., Knecht, S., & Breitenstein, C. (2008). Noninvasive brain stimulation improves language learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1415–1422.
- Funk, C. M., & Gazzaniga, M. S. (2009). The functional brain architecture of human morality. *Current Opinion in Neurobiology*, 19(6), 678–681.
- Gobbini, M. I., Koralek, A. C., Bryan, R. E., Montgomery, K. J., & Haxby, J. V. (2007). Two takes on the social brain: A comparison of theory of mind tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1803–1814.
- Greene, J. D., & Haidt, J. (2002). How (and where) does moral judgment work? *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), 517–523.
- 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.
- Haidt, J. (2008). Morality. *Perspectives on Psychological Science*, 3(1), 65–72.
- Hamilton, A. F. D., & Grafton, S. T. (2006). Goal representation in human anterior intraparietal sulcus. *Journal of Neuroscience*, 26(4), 1133–1137.
- Holland, R., Leff, A. P., Josephs, O., Galea, J. M., Desikan, M., Price, C. J., ... Crinion, J. (2011). Speech facilitation by left inferior frontal cortex stimulation. *Current Biology*, 21(16), 1403–1407.
- 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., Koslowsky, M., & Lavidor, M. (2012). tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: A meta-analytical review. *Experimental Brain Research*, 216(1), 1–10.
- Johnson, J. A., Strafella, A. P., & Zatorre, R. J. (2007). The role of the dorsolateral prefrontal cortex in bimodal divided attention: Two transcranial magnetic stimulation studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), 907–920.
- 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.
- Karim, A. A., Schneider, M., Lotze, M., Veit, R., Sauseng, P., Braun, C., & Birbaumer, N. (2010). The truth about lying: Inhibition of the anterior prefrontal cortex improves deceptive behavior. *Cerebral Cortex*, 20(1), 205–213.
- Keiser, D., Meindl, T., Bor, J., Palm, U., Pogarell, O., Mulert, C., ... Padberg, F. (2011). Prefrontal transcranial direct current stimulation changes connectivity of resting-state networks during fMRI. *Journal of Neuroscience*, 31(43), 15284–15293.
- Kincses, T. Z., Antal, A., Nitsche, M. A., Bartfai, O., & Paulus, W. (2004). Facilitation of probabilistic classification learning by transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex in the human. *Neuropsychologia*, 42(1), 113–117.
- Kondo, H., Osaka, N., & Osaka, M. (2004). Cooperation of the anterior cingulate cortex and dorsolateral prefrontal cortex for attention shifting. *Neuroimage*, 23(2), 670–679.
- Lagopoulos, J., Hermens, D. F., Naismith, S. L., Scott, E. M., & Hickie, I. B. (2012). Frontal lobe changes occur early in the course of affective disorders in young people. *BMC Psychiatry*, 12, 4.
- Marshall, L., Mölle, M., Siebner, H. R., & Born, J. (2005). Bifrontal transcranial direct current stimulation slows reaction time in a working memory task. *BMC Neuroscience*, 6, 23.
- Moll, J., de Oliveira-Souza, R., Bramati, I. E., & Grafman, J. (2002). Functional networks in emotional moral and nonmoral social judgments. *Neuroimage*, 16(3), 696–703.
- Moll, J., & Schulkin, J. (2009). Social attachment and aversion

- in human moral cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(3), 456–465.
- Moran, J. M., Young, L. L., Saxe, R., Lee, S. M., O'Young, D., Mavros, P. L., & Gabrieli, J. D. (2011). Impaired theory of mind for moral judgment in high-functioning autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2688–2692.
- Nair, D. G., Renga, V., Lindenberg, R., Zhu, L., & Schlaug, G. (2011). Optimizing recovery potential through simultaneous occupational therapy and non-invasive brain-stimulation using tDCS. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 29(6), 411–420.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology*, 527(Pt 3), 633–639.
- Perner, J., Aichhorn, M., Kronbichler, M., Staffen, W., & Ladurner, G. (2006). Thinking of mental and other representations: The roles of left and right temporo-parietal junction. *Social Neuroscience*, 1, 245–258.
- Priori, A., Berardelli, A., Rona, S., Accornero, N., & Manfredi, M. (1998). Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport*, 9(10), 2257–2260.
- Priori, A., Mameli, F., Cogiamanian, F., Marceglia, S., Tiriticco, M., Mrakic-Sposta, S., ... Sartori, G. (2008). Lie-specific involvement of dorsolateral prefrontal cortex in deception. *Cerebral Cortex*, 18(2), 451–455.
- Sang, B. (2003). *Contemporary children's developmental psychology*. Shanghai: Shanghai Education Press.
- [桑标. (2003). *当代儿童发展心理学*. 上海: 上海教育出版社.]
- Saxe, R. 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. R., Whitfield-Gabrieli, S., Scholz, J., & Pelphrey, K. A. (2009). Brain regions for perceiving and reasoning about other people in school-aged children. *Child Development*, 80(4), 1197–1209.
- Schlaug, G., Marchina, S., & Wan, C. Y. (2011). The Use of Non-invasive Brain stimulation techniques to facilitate recovery from post-stroke aphasia. *Neuropsychology Review*, 21(3), 288–301.
- Silvanto, J., Muggleton, N., & Walsh, V. (2008). State-dependency in brain stimulation studies of perception and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(12), 447–454.
- Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist*, 17(1), 37–53.
- Stone, D. B., & Tesche, C. D. (2009). Transcranial direct current stimulation modulates shifts in global/local attention. *Neuroreport*, 20(12), 1115–1119.
- Tian, X. H., Yang, Q., Zhang, D. X., & Zhang, Y. (2011). A theory on the mechanism underlying moral intuitions. *Advances in Psychological Science*, 19(10), 1426–1433.
- [田学红, 杨群, 张德玄, 张烨. (2011). 道德直觉加工机制的理论构想. *心理科学进展*, 19(10), 1426–1433.]
- Watson, D., Clark, L. A., & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063–1070.
- Young, L., Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Hauser, M., & Damasio, A. (2010). Damage to ventromedial prefrontal cortex impairs judgment of harmful intent. *Neuron*, 65(6), 845–851.
- 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*, 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*, 104(20), 8235–8240.
- Young, L., & Dungan, J. (2012). Where in the brain is morality? Everywhere and maybe nowhere. *Social Neuroscience*, 7(1), 1–10.
- 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., Nichols, S., & Saxe, R. (2010). Investigating the neural and cognitive basis of moral luck: It's not what you do but what you know. *Review of Philosophy and Psychology*, 1(3), 333–349.
- 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.
- Zelazo, P. D., Burack, J. A., Benedetto, E., & Frye, D. (1996). Theory of mind and rule use in individuals with Down's syndrome: A test of the uniqueness and specificity claims. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 37(4), 479–484.

Exciting the Right Temporo-Parietal Junction with Transcranial Direct Current Stimulation Influences Moral Intention Processing

GAN Tian^{1,2}; LI Wanqing²; TANG Honghong²; LU Xiaping²; LI Xiaoli²; LIU Chao²; LUO Yuejia³

(¹ Department of Psychology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, 310018, China)

(² State Key Laboratory of Cognitive Neurosciences and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(³ Institute of Affective and Social Neuroscience, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract

When we evaluate the moral status of an action, we consider not only its consequences but also the beliefs and intentions of the actor, which relies on the capacity to infer others' mental states. Functional MRI studies showed that the right temporo-parietal junction (RTPJ) is the critical brain region for understanding others' mental states. Previous studies have found that the role of intention processing in moral judgment was reduced by disrupting the RTPJ with transcranial magnetic stimulation (TMS). In the current study, we enhanced the role of intention processing in moral judgment with the transcranial direct current stimulation (tDCS), a painless, non-invasive brain stimulation technique that allows us to induce polarity-specific excitability changes in the human brain. Many tDCS studies have confirmed the anodal excitation effect for cognitive functions. However, so far, limited work has been done to explore the tDCS effect on social cognitive function such as moral judgment. Therefore, the present study aims to investigate the anodal excitation effect of tDCS on moral judgment. We hypothesize that exciting the neural activity of RTPJ with anodal tDCS could enhance the role of intention processing in moral judgment.

To test our hypothesis, 18 healthy college students were recruited to participate in the study. All subjects underwent two tDCS sessions (anodal and sham tDCS) in random order and counterbalanced across subjects on 2 separate days with 1 week interval between both stimulations. We applied anodal (1.5mA, 20 min) and sham tDCS (1.5mA, 15 sec) on the RTPJ while subjects were introduced to keep a resting state. After stimulation, subjects read stories in a 2 (intention: negative vs. neutral) $\times$ 2 (outcome: negative vs. neutral) design and were asked to make moral judgment about how much blame the actor deserves. We analyzed the moral evaluation score and reaction time by a 2 (intention) $\times$ 2 (outcome) $\times$ 2 (tDCS: anodal, sham) repeated measures ANOVA.

Results showed that actors with negative intentions were judged more morally blameworthy than those with neutral intentions, and actors producing negative outcomes were judged more blameworthy than those causing neutral outcomes. The differences between no harm (neutral intention, neutral outcome) and accidental harm (neutral intention, negative outcome) were larger than that between attempted harm (negative intention, neutral outcome) and successful harm (negative intention, negative outcome). For the reaction time, judgments of negative outcomes were faster than that of neutral outcomes. The responses to attempted and accidental harm were slower than the other two conditions. Most importantly, the moral judgment was slower under anodal tDCS than sham tDCS stimulation, especially under the attempted harm and accidental harm conditions.

These results highlight the role of intention processing in moral judgment. People will spend more time integrating the intention and outcome information in order to make normal moral judgment. Furthermore, the present research provides us a better understanding about the role of RTPJ in moral judgment. Using anodal tDCS to excite the neural activity of RTPJ enhanced the capacity of mentalizing in moral judgment, especially in the cases of attempted harm and accidental harm.

Key words moral judgment; intention; consequence; right temporo-parietal junction (RTPJ); transcranial direct current stimulation (tDCS)