

左侧额下回在汉语抽象词语义理解中的作用： 一项经颅直流电刺激研究

吴洁莹, 张 茜*

西南石油大学外国语学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年9月22日; 录用日期: 2022年10月19日; 发布日期: 2022年10月28日

摘 要

词汇理解是人类的一项重要认知功能。在语义编码和存储的过程中, 语义一般被分为两个不同的概念, 即抽象和具体。抽象词和具体词在人脑中的语义表示机制与语言处理机制密切相关。此前研究主要将目光放在具体词语义加工机制上, 对抽象词语义加工机制的探究相对较少。以往基于字母文字(如英语和德语)的研究发现, 在对抽象词进行语义处理时, 左额下回更容易被激活。然而, 作为一种表意文字, 在处理抽象词的意义时, 汉语使用者是否会出现同样的现象, 还需要进一步探究。此外, 在技术上, 以往对于抽象词语义加工机制研究主要采用磁共振成像和脑电技术。尽管这些技术为进一步研究抽象词语义加工机制提供了影像基础, 但是并不能反映脑区与行为之间的因果关系。因此, 本研究通过使用经颅直流电技术刺激左额下回, 完成语义判断任务和数字判断任务, 来研究左额下回在汉语抽象语义中的作用。研究结果显示, 虽然正确率没有明显变化, 但刺激左额下回时, 抽象语义判断任务的反应时间明显加快。这表明, 左额下回与其他字母语言如英语和德语一样, 在处理中文抽象词的意义方面起着重要作用。

关键词

语义理解, 左侧额下回, 经颅直流电刺激

The Role of Left Inferior Frontal Gyrus in the Semantic Processing of Abstract Words in Chinese: A Transcranial Direct Current Stimulation Study

Jieying Wu, Qian Zhang*

School of Foreign Languages, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 吴洁莹, 张茜(2022). 左侧额下回在汉语抽象词语义理解中的作用: 一项经颅直流电刺激研究. *心理学进展*, 12(10), 3515-3526. DOI: 10.12677/ap.2022.1210428

Abstract

Semantic comprehension is an important cognitive function for humans. In the process of semantic encoding and storage, semantics is generally divided into two different concepts, abstract and concrete concepts. The mechanisms of semantic representation of abstract and concrete words in the human brain are closely related to the mechanisms of language processing. Previous research has mainly focused on the mechanism of concrete semantic processing, with relatively limited exploration of abstract semantic processing mechanisms. Based on alphabetic languages such as English and German, previous studies have found that the left inferior frontal gyrus is more activated during the semantic processing of abstract words. However, it needs to be further probed whether the same phenomenon occurs in Chinese, which is an ideographic language. Furthermore, in terms of technique, previous studies of abstract semantic processing mechanisms have mainly used functional magnetic resonance imaging and electroencephalography. Although these techniques provide an imaging basis for further research on abstract word-meaning processing mechanisms, they do not reflect the direct link between brain regions and behavior. Thus, in this study, transcranial direct current stimulation was used to investigate the role of the left inferior frontal gyrus in Chinese abstract semantics by stimulating the left inferior frontal gyrus and completing a semantic judgment task and a numerical judgment task. The results of the study showed that, although there was no significant change in accuracy, the response time of abstract semantic judgment task was significantly faster when the left inferior frontal gyrus was stimulated with anodal transcranial direct current stimulation. This suggests that the left inferior frontal gyrus, like other alphabetic languages, such as English and German, plays an important role in processing the meaning of abstract words in Chinese.

Keywords

Semantic Processing, Left Inferior Frontal Gyrus, Transcranial Direct Current Stimulation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

语言是人类独有的高级认知功能,词汇在语言中起着非常重要的作用。词汇理解是人类重要的认知功能。它不仅在语言中起着关键作用,而且在人类日常处理问题、执行计划和获取知识方面也起着不可或缺的作用。在语义编码和储存过程中,一般将语义分为抽象和具体两种不同的概念。具体的概念指的是有明确指向、有具体指代的物体,如汽车、花等;抽象概念则是指代表我们内心的情绪、感受、心理状态以及其他我们无法触及的条件,如爱、悲伤等抽象概念,它们更能代表我们无法触及的感受、情绪、状态和条件(Kurmakaeva et al., 2021)。抽象词和具体词在人脑中的语义表征机制与语言加工机制息息相关。但是,此前的研究主要集中在具体词的语义处理机制,对于抽象词的语义处理机制还需要进一步探索。

对于抽象词的加工处理机制,一个具有代表性的观点是双编码理论。这一理论认为,抽象词加工处理主要依靠言语系统(verbal system),而具体词处理依靠意象系统(imagery system)和言语系统。基于此前

的理论和认知科学技术的发展, 越来越多研究开始对抽象词的语义加工机制进行探讨。但是, 对于抽象词的语义加工机制还存在争议。如 Kiehl et al. (1999) 的研究中受试者进行词汇判断任务时, 其双侧梭状回、双侧额下回、左侧颞中回、右侧颞上回后部、前扣带皮层都有所激活。其中, 与具体词相比, 在处理抽象词时, 右侧额叶和颞叶前侧激活程度更高。Whatmough et al. (2004) 发现, 在进行抽象词语义判断时, 右腹侧梭状回激活程度较高; 在进行具体词语义判断任务时, 左腹侧梭状回激活程度更高。尽管抽象词的语义认知加工机制还有待进一步厘清, 但也有研究发现, 左侧额下回在抽象词学习过程中发挥了关键的作用(Gnedych et al., 2022)。除此以外, 与处理具体词语义相比, 左侧额下回在进行抽象词语义处理时激活程度更高 (Noppeney & Price, 2004; Sabsevitz et al., 2005; Shallice & Cooper, 2013; Della Rosa et al., 2018)。

汉语作为一种表意文字, 与英语、德语等拼音文字在语言加工机制上可能存在差异。英语、德语等拼音文字在形态上呈线性排列, 形音连接较强; 而汉字是方块字, 由部件和笔画组成, 形音连接较拼音文字弱(Tan et al., 2001; Fu et al., 2002)。Tan 等人发现, 与英语阅读不同, 汉语在阅读过程中右半球的激活程度更高, 同时, 左侧额中回(BA9)协调并整合了视觉分析和语义分析, 因此这一区域也被认为是汉语加工所特有的脑区(Tan et al., 2001; 张娜等, 2006)。英语、德语等字母文字和汉语之间的不同是否造成语义加工机制的差异需要进一步探讨。近年来, 在汉语语言研究中, 也有学者开始关注抽象词的神经加工机制(Zhang et al., 2006; Tsai et al., 2009; Chen & Lin, 2012; Ding et al., 2017; Wang et al., 2018)。如 Zhang et al. (2006) 的 ERPs 研究发现, 在 200~300 ms 和 300~500 ms 时间窗时, 具体词引起的负波强于抽象词, 而且这种表现与词频的高低没有明显关系。在 300~500 ms 时间窗中, 处理抽象词和具体词的脑区呈现差异。Tsai et al. (2009) 发现, 与抽象名词相比, 具体名词在加工时会引起更大的 N400 波幅, 并且这种现象广泛分布在各个脑区。张圆发现, 汉藏双语熟练者和不熟练者在处理抽象词语义时, 激活了相同的脑区, 包括左侧额下回、颞上回、颞中回等区域。此前对抽象词的语义加工研究以观察脑区电生理改变为主, 也有研究对汉语抽象词语义加工所涉及的脑区进行探索, 这些研究为进一步探索抽象词的语义加工机制提供了基础(张圆, 2019)。但是, 对抽象词语义加工所涉及脑区与行为之间关系还有待进一步研究。

此前研究使用磁共振、脑磁图等影像学技术或事件相关电位技术对抽象词语义加工机制进行了探索。通过 BOLD (Blood-oxygen-level-dependent) 信号或神经电生理改变, 这些技术从影像上展示了抽象词语义加工过程中所激活的脑区, 为进一步研究抽象词语义加工机制提供了基础。神经影像学(如磁共振成像技术)拥有较高的空间分辨率, 可以同时显示行为活动中激活的所有脑区。但是, 这一技术的时间分辨率不高。事件相关电位技术(Event-Related Potentials, ERPs)拥有较强的时间分辨率, 可以记录特定脑区的特定脑电成分和波幅、潜伏期等指标, 但空间分辨率不高(张茜, 2020)。这些技术尽管能清晰地显示抽象词语义加工过程中激活的脑区, 却并不能说明脑区与抽象词语义加工之间的关系。随着认知科学技术的发展, 近年来非侵入式刺激(如经颅磁刺激和经颅直流电刺激), 开始应用于语言加工机制的研究中。如 Davey 等通过经颅磁刺激发现, 左侧角回和颞中回在语义提取方面起着重要的作用(Davey et al., 2015; Davey et al., 2016)。利用经颅磁刺激技术, Whitney et al. (2011) 发现前额叶和颞叶后侧参与了语义认知控制过程。近年来, 由于其方便操作、舒适安静的特点, 经颅直流电刺激技术(transcranial direct current stimulation, tDCS)也开始运用于语言加工机制研究中。经颅直流电刺激是一项无创性好、安全性高、高效便捷的神经功能调节技术。其原理是通过 2 个头皮电极(阴极和阳极)产生微弱的直流电(电流大小在 0.5~2 mA 之间), 诱导静息电位次阈值发生变化, 改变神经元的自发放电率及脑表面神经元膜电位去极化或超极化方向, 从而发挥增强或抑制局部脑区功能的作用(徐舒等, 2018)。这一技术近年来已经运用于语言流畅度(Pereira et al., 2013)、语言学习(Floel et al., 2008)、阅读能力(Heth & Lavidor, 2015)等方面的研究中。先前针对运动系统的研究发现, 阳极经颅直流电刺激对任务表现有促进作用, 阴极刺激有抑制作用。在语言加工方

面的研究中, 也有研究发现, 阳极刺激作用在健康人或患有语言障碍的病人后, 可以促进受试的语言表现。如在 Minamoto et al. (2014) 的研究中, 后顶叶接受阳极经颅直流电刺激后, 被试的句子再认任务表现有所提高。Marangolo et al. (2013) 的研究也发现, 中风患者在左侧前额叶接受阳极刺激后, 命名任务完成的正确率和速度都得到了提升。一项综述发现, 左侧额下回在接受阳极经颅直流电刺激后, 受试的语义流畅度任务和词语生成任务的表现更好(Joyal & Fecteau, 2016)。因此, 经颅直流电刺激作用于左侧额下回时, 可以影响语义加工表现。

综合以上分析, 可以发现, 尽管在语义理解加工机制方面, 学界发现左侧额下回在处理抽象语义中激活程度较高, 但是, 此前研究是基于英语、德语等拼音文字进行。汉语作为表意文字, 在字形和语义的联系上与英语有所不同。除此以外, 在汉语抽象词语义理解机制研究中, 主要使用空间分辨率高的磁共振和时间分辨率高的事件相关电位技术。这些技术为进一步探索抽象词的语义加工机制研究提供了基础, 但不能很好地验证脑区和行为之间的联系。因此, 本研究采用经颅直流电刺激技术这一种较为舒适、安全性高的非侵入式刺激的方式, 通过对左侧额下回进行短时间刺激, 改变神经功能调节的方式, 试从另一个角度观察左侧额下回在汉语抽象词语义处理上的作用。

2. 方法

2.1. 被试

本实验共招募了 39 名来自四川省某大学的健康受试者, 包括 19 名男性和 20 名女性(年龄在 19~25 岁, 平均年龄 \pm SD: 21.97 ± 2.05)。所有参与者为汉语母语者, 具备以下条件: 1) 身体健康, 无头部外伤; 2) 无癫痫、脑部疾病和精神疾病史; 3) 视力正常或矫正至正常视力; 4) 无酗酒或药物滥用情况。10 位被试数据未纳入数据分析范围, 原因如下: 准确率低于 75% (5 人), 由于个人原因未能完成所有任务(3 人); 数据采集期间的技术问题(2 人)。最终共有 29 名受试者的实验结果被纳入数据分析中(年龄在 18~25 岁, 平均年龄 \pm SD: 21.90 ± 2.18 , 男生 15 人)。所有受试者在实验开始前均已签署实验同意书和风险筛查表, 并在实验后获得适量报酬。

2.2. 实验流程

本研究采用了单盲、随机、组内实验设计。本研究的实验程序如图 1 所示。在实验之前, 被试接受一个简短的数字和语义判断任务的练习(练习环节的内容与实验中不重复)。然后, 被试一共需要接受 3 次实验, 最小间隔为 24 小时(Malyutina & Ouden, 2015)。在每次实验中, 被试接受 20 分钟的经颅直流电刺激, 然后完成语义判断和数字判断任务(任务流程如图 3 所示)。在刺激过程中, 受试者在整个过程中安静地、放松地坐在舒适的椅子上。刺激的顺序在不同的参与者之间是平衡的。所有受试者在实验中也不知道他们每次接受的刺激类型。

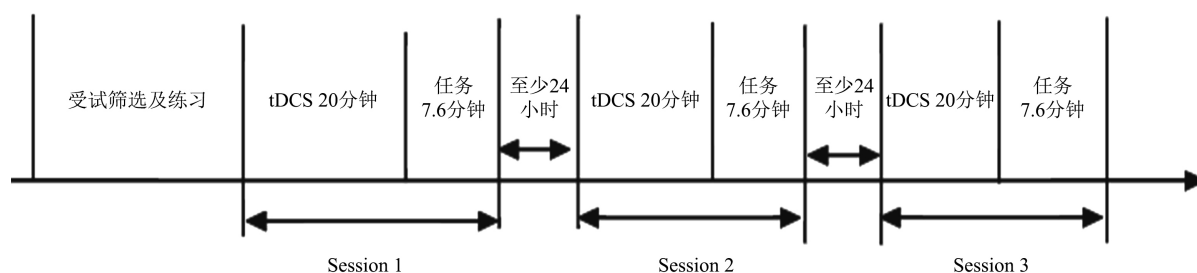


Figure 1. Schematic diagram of experimental process

图 1. 实验流程示意图

2.3. 实验材料及任务

研究中采用的刺激材料为汉语双音节词和三位数的数字。汉语双音节词以教育部语言文字应用研究所计算语言学研究室所建的国家语委现代汉语通用平衡语料库(靳光瑾等, 2005; 肖航, 2010, 2016)为语料基础, 具体词和抽象词类别参考 Chen et al. (2014)的研究。具体词种类涵盖器官、水果、乐器、建筑、工具等; 抽象词种类包括学科名称、疾病、物理概念、度量等种类。具体词的平均笔画数为 16 划, 平均词频控制在 10 次/百万词。抽象词的平均笔画数为 16.6 划, 平均词频控制在 8.83 次/百万词。实验开始前, 共有 15 名没有参与实验的学生使用李克特 7 点量表对所选语料进行词语形象性评分。根据评分结果, 具体词词语形象性评分在 6.59, 抽象词词语形象性在 3.42。受试在接受 20 分钟 tDCS 刺激后开始完成任务, 刺激过程中, 为保证刺激效果, 受试全程将安静、放松地坐在舒适的椅子上。

本次实验任务参考前人的实验范式(Noppeney & Price, 2004; Binney et al., 2010; Papagno et al., 2013; Zhang et al., 2019) (如图 2 所示), 采用语义判断任务作为实验主任务, 同时将数字判断任务作为对照任务。任务开始后首先会出现一个十字架(500 ms), 要求被试迅速准确判断屏幕下方三个双字词中哪一个和上方的提示词在语义上最相近或同属一类, 并做出按键反应, 受试按键后自动进入下一个试次。如受试在 2000 ms 内没做出反应, 则自动进入下一个试次。每一试次间隔都出现 500 ms 的十字架作为注视点。数字任务在难度上和语义任务大体匹配, 要求被试判断屏幕下方的三个三位数哪一个和上方的提示数字在数值上最接近, 并做出按键反应。受试需要在 2000 ms 内完成判断, 如无判断则自动进入下一试次。每一试次间隔同样出现时长为 500 ms 的十字架作为注视点。每次实验共有 3 个模块序列(blocks), 模块序列之间有一个注视十字架(3000 ms)。十字架出现时, 被试无需做任何反应。每个模块序列中包含 20 个试次(trials) 抽象词语义判断任务、20 试次具体词语义判断任务和 20 试次数数字判断任务, 每个试次中间有一个持续 500 ms 的注视十字架。一次实验总计 180 试次。实验程序由 Psychopy 3 呈现(Peirce, 2007)。

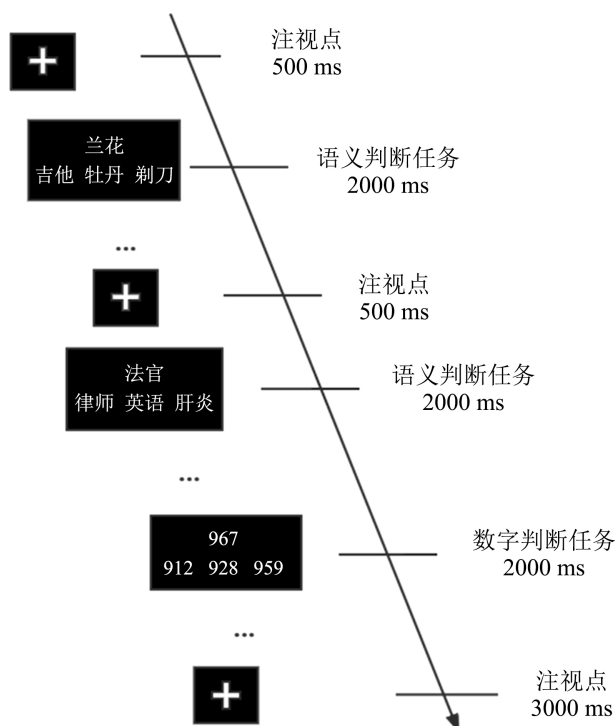


Figure 2. Schematic diagram of task flow
图 2. 任务流程示意图

2.4. tDCS

实验采用国产苗安子品牌 tDCS 设备(型号 DRORIAN2019)对被试实施刺激。刺激将使用一对直径为 5 cm 的海绵电极。在刺激前, 电极浸泡在浓度为 0.09% 的生理盐水中, 刺激时再将电极放置在目标位置上。根据国际 10~20 系统, 左侧额下回对应的位点在 F7 (Kounios & Holcomb, 1994)。阳极刺激时, 阳极电极将位于 F7, 阴极刺激位于 Cz (刺激模拟效果如图 3 所示)。进行阴极刺激时相反。假刺激时电极放置位置与阴极刺激相同。基于前人的研究, tDCS 刺激时间一般在 15~20 分钟。为确保左侧额下回得到充分激活, 本实验设置刺激时间为 20 分钟, 电流强度为 2 毫安。在真刺激条件下, 电流将在刺激开始 1 分钟内缓缓上升到 2 毫安, 并将持续 20 分钟, 在刺激结束前 1 分钟内缓缓回落到 0。在假刺激条件下, 电流将在 1 分钟内上升到 2 毫安后迅速降至 0, 之后每 10 秒出现一次脉宽为 0.5 秒的刺激, 总刺激量为 100 微安。在刺激最后一分钟, 电流将从 2 毫安缓缓回落到 0。

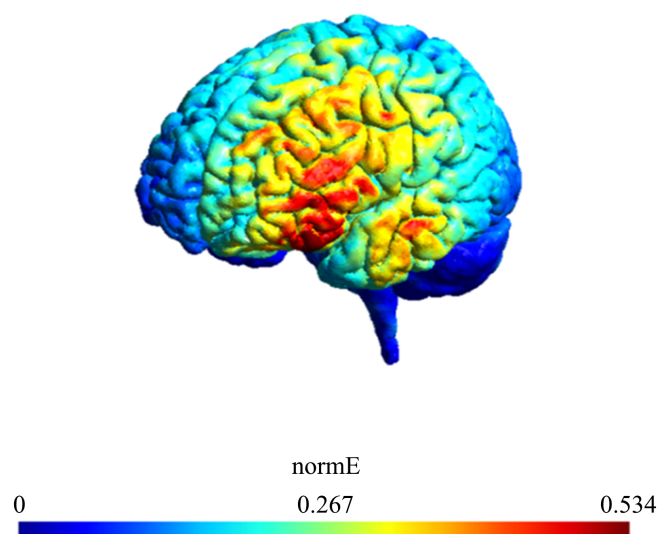


Figure 3. Simulation effect of electric field strength during transcranial direct current stimulation (made by simNIBS software) (Thielscher et al., 2015)

图 3. 经颅直流电刺激过程电场强度模拟效果图(由 simNIBS 软件制作) (Thielscher et al., 2015)

2.5. 数据分析方法

在实验过程中记录的行为反应时(RT)和正确率(ACC)使用 SPSS 24.0 进行重复测量方差分析 (rmANOVA), 对不符合球形检验的数据进行 Greenhouse-Geisser 校正。对方差分析结果中有显著交互作用的做进一步简单效应分析, 分析结果用 Bonferroni 法进行校正。在数据分析过程中, 仅挑选所有任务完成正确率均高于 75% 的数据进行分析。在分析反应时数据时, 错误数据(如错选、漏选等)将被剔除。

3. 实验结果

3.1. 刺激后完成任务反应时变化情况

实验测量刺激后被试在语义判断任务和数字判断任务反应时(Reaction Time, RT)。变化情况如图 4 和表 1 所示。

2(抽象词判断任务、具体词判断任务) × 2(假刺激、阳极刺激)的双因素重复测量分析结果表明, 刺激

和任务类型间存在显著的交互效应, $F(1, 28) = 7.324$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.207$ 。简单效应分析发现: 在阳极刺激下, 与假刺激相比, 抽象词判断任务反应时显著减少, 表现优于假刺激($p = 0.026$)。同时, 在假刺激条件下, 抽象词语义判断任务的反应时显著高于具体词语义判断任务($p = 0.001$)。任务存在明显的主效应, $F(1, 28) = 4.342$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.134$, 抽象词任务反应时显著长于具体词判断任务。刺激类型不存在显著的主效应, $p = 0.195$ 。

在 2(抽象词判断任务、具体词判断任务) \times 2(假刺激、阴极刺激) 的双因素重复测量分析中, 结果表明, 刺激类型和任务间没有显著的交互效应, $F(1, 28) = 0.743$, $p = 0.396$, $\eta^2 = 0.026$ 。任务类型存在明显的主效应, $F(1, 28) = 16.261$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.367$ 。在假刺激和阴极刺激两种刺激条件下, 抽象词判断任务反应时均比具体词判断任务反应时长。刺激类型存在明显的主效应, $F(1, 28) = 13.189$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.320$ 。在抽象词和具体词语义判断任务的反应时上, 阴极刺激快于假刺激。

2(数字判断任务、具体词判断任务) \times 2(假刺激、阳极刺激) 的双因素重复测量分析结果显示, 刺激类型和任务之间有显著的交互效应, $F(1, 28) = 8.307$, $p = 0.008$, $\eta^2 = 0.229$ 。简单效应分析发现: 在阳极刺激的条件下, 数字判断任务反应时显著下降, 表现优于假刺激($p = 0.021$)。刺激类型不存在显著的主效应, $F(1, 28) = 2.081$, $p = 0.160$, $\eta^2 = 0.069$; 任务类型不存在显著的主效应, $F(1, 28) = 0.710$, $p = 0.406$, $\eta^2 = 0.025$ 。

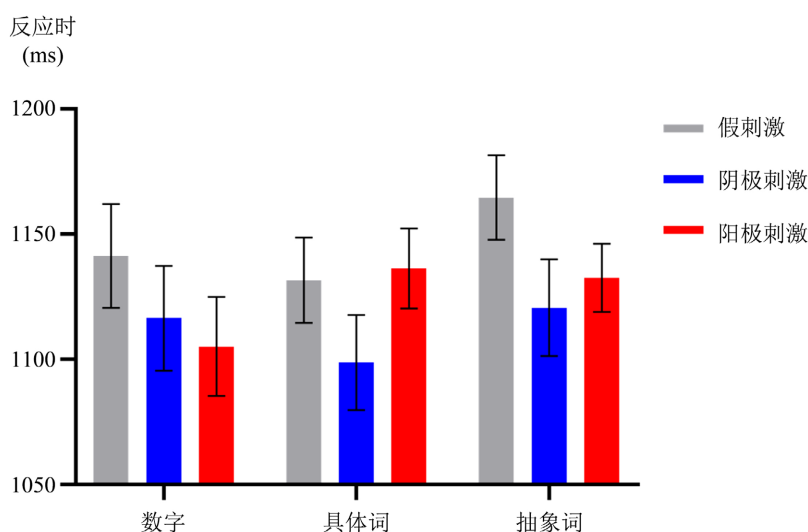


Figure 4. Response time outcomes with different tDCS conditions (Error line: mean \pm standard error)

图 4. 不同刺激类型条件下的行为反应时结果(误差线: 平均值 \pm 标准误)

Table 1. The mean reaction time (ms) and standard error of the semantic judgment task and the numerical judgment task
表 1. 语义判断任务和数字判断任务平均反应时及标准误(单位: ms)

刺激条件	假刺激	阴极刺激	阳极刺激
任务类型			
数字	1141.31 (20.725)	1116.41 (20.942)	1105.10 (19.848)
具体词	1131.62 (17.097)	1098.66 (18.968)	1136.34 (16.013)
抽象词	1164.66 (16.903)	1120.62 (19.350)	1132.52 (13.629)

3.2. 刺激后正确率变化情况

语义判断任务和数字判断任务的正确率及其变化情况如图 5 和表 2 所示。

在 2(刺激条件: 假刺激、阳极刺激) × 2(任务类型: 具体词判断任务、抽象词判断任务)的重复测量方差分析中, 刺激条件与任务类型交互作用不显著, $F(1, 28) = 0.125$, $p = 0.726$, $\eta^2 = 0.004$ 。刺激条件没有显著的主效应, $F(1, 28) = 2.390$, $p = 0.133$, $\eta^2 = 0.079$ 。任务并不具有显著的主效应, $F(1, 28) = 0.211$, $p = 0.157$, $\eta^2 = 0.070$ 。

2(刺激条件: 假刺激、阴极刺激) × 2(任务类型: 具体词判断任务、抽象词判断任务)的重复测量方差分析结果显示, 任务具有显著的主效应, $F(1, 28) = 9.450$, $p = 0.005 < 0.01$, $\eta^2 = 0.252$, 具体词判断任务准确率高于抽象词。刺激条件与任务类型交互作用不显著, $F(1, 28) = 1.444$, $p = 0.240$, $\eta^2 = 0.049$ 。刺激条件没有显著的主效应, $F(1, 28) = 2.713$, $p = 0.111$, $\eta^2 = 0.088$ 。

在 2(刺激条件: 假刺激、阳极刺激) × 2(任务类型: 数字判断任务、抽象词判断任务)的重复测量方差分析中, 刺激条件与任务类型之间有明显的交互作用, $F(1, 28) = 5.500$, $p = 0.026$, $\eta^2 = 0.164$ 。简单效应分析发现: 在阳极刺激条件下, 数字判断任务正确率显著高于抽象词语义判断任务($p = 0.008$); 同样, 假刺激条件下, 数字判断任务的正确率也显著高于抽象词语义判断任务($p < 0.001$)。刺激类型没有显著的主效应, $F(1, 28) = 0.006$, $p = 0.937$, $\eta^2 = 0.000$ 。任务存在显著的主效应, $F(1, 28) = 27.485$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.495$ 。同样, 2(刺激条件: 假刺激、阴极刺激) × 2(任务类型: 数字判断任务、抽象词判断任务)的重复测量分析结果显示, 刺激条件与任务类型之间有明显的交互作用, $F(1, 28) = 9.536$, $p = 0.005$, $\eta^2 = 0.254$ 。在假刺激和阴极刺激两种条件下, 数字判断任务正确率都显著高于抽象词语义判断任务。任务类型有明显的主效应, $F(1, 28) = 31.832$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.532$ 。数字判断任务正确率显著高于抽象词语义判断任务。

当假刺激条件下的数字判断任务和具体词语义判断任务正确率分别与阴极刺激和阳极刺激条件下的数字判断任务和具体词语义判断任务对比时, 发现刺激和任务均没有明显的交互作用, $p_s > 0.05$ 。同时, 也没有发现刺激类型具有明显的主效应, $p_s > 0.05$ 。但是, 任务都具有明显的主效应, $F_{\text{阴极}}(1, 28) = 12.218$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.304$; $F_{\text{阳极}}(1, 28) = 10.619$, $p = 0.003$, $\eta^2 = 0.275$ 。数字判断任务正确率显著高于具体词语义判断任务。

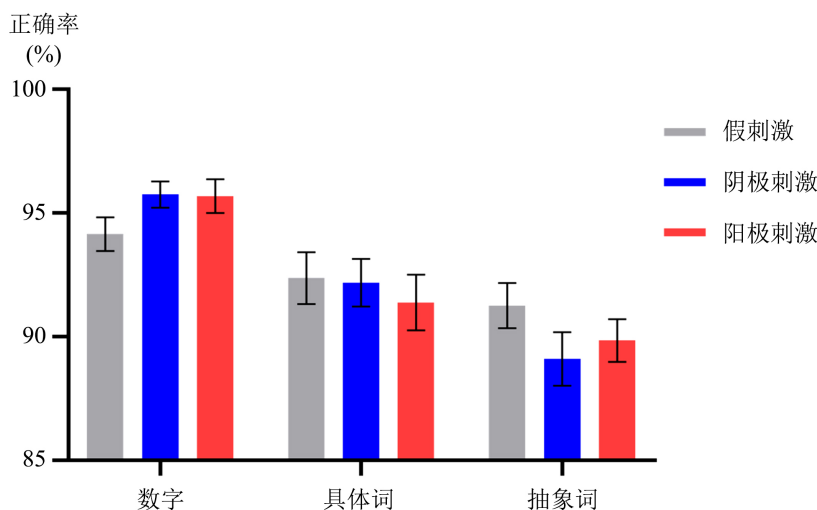


Figure 5. Accuracy results with different stimulations (Error line: mean ± standard error)

图 5. 不同刺激条件下的正确率结果(误差线: 平均值 ± 标准误)

Table 2. Accuracy (%) and standard error of semantic judgment task and number judgment task
表 2. 语义判断任务和数字判断任务正确率(%)及标准误

刺激类型	假刺激	阴极刺激	阳极刺激
任务类型			
数字	94.15 (0.680)	95.75 (0.535)	95.69 (0.684)
具体词	92.36 (1.052)	92.17 (0.960)	91.38 (1.121)
抽象词	91.26 (0.909)	89.10 (1.076)	89.84 (0.864)

4. 讨论

本实验旨在使用经颅直流电技术结合语义判断任务及数字判断任务的范式, 验证左侧额下回在汉语语义理解中的作用。左侧额下回在接受 20 分钟阴极经颅直流电刺激后, 与假刺激条件相比, 抽象词和具体词语义判断任务的反应时均有所加快。而左侧额下回在接受 20 分钟阳极刺激后, 抽象词语义判断任务时间较假刺激时更快, 这种情况在数字判断任务中也有所体现。但在具体词语义判断任务中, 受试的反应时与假刺激条件相比, 并没有明显变化。此外, 抽象词判断任务的反应时在假刺激和阴极刺激两种条件下, 反应时均大于具体词语义判断任务反应时。这种现象在阳极刺激条件下并没有体现。在正确率上, 实验数据表明, 在假刺激和阴极刺激的条件下, 抽象词语义判断任务的正确率明显低于具体词语义判断任务, 而这种差异在阳极刺激的条件下并不明显。

本实验发现, 与假刺激相比, 左侧额下回在接受阴极和阳极刺激时, 抽象词判断任务的反应时与假刺激相比更快。表明左侧额下回在汉语抽象词语义加工中起到了关键作用, 进一步佐证了双编码假说认为抽象词更依靠运动系统加工的观点, 也进一步支持前人的研究结果。大量以英语和德语等为对象的研究表明, 左侧额下回在抽象语义理解和加工上有显著激活(Noppeney & Price, 2004; Binder et al., 2005; Sabsevitz et al., 2005; Papagno et al., 2009)。例如, Binder et al. (2005)使用词汇判断任务发现, 被试的左侧额下回在处理抽象词时激活程度较高。Papagno et al. (2009)使用经颅磁刺激和词汇判断任务发现, 当刺激作用于左侧额下回时, 抽象词任务的正确率降低。这些结果都表明, 在进行抽象语义认知加工时, 左侧额下回起到了重要的作用。在 Chen 和 Lin (2012)的研究中, 左侧额下回激活程度越高, 抽象词的记忆效果越好。Feng et al. (2020)的研究发现, 母语为汉语的被试在处理抽象语义时, 与英语和德语等字母文字使用者一样, 左侧额下回也得到了高度激活。与具体概念相比, 左侧额中回和颞中回在处理抽象概念时的激活程度更高(Wang et al., 2010)。与具体词不同, 抽象词缺乏明确、具象的物体与之对应, 在语义理解加工上更加依赖语义检索和语义提取。在抽象词语义加工的过程中, 左侧额下回被认为是人类思考抽象内容的中心区域, 在语义储存、编码和提取过程中都扮演了重要的角色(Borghi et al., 2018)。

在此前的研究中, 经颅直流电阳极刺激被认为可以促进被试任务表现的刺激, 而阴极刺激对任务的影响则相反。如 Hussey et al. (2015)对左侧 LPFC (lateral prefrontal cortex)进行刺激, 并要求被试接受刺激后进行 n-back 任务和歧义句判断。结果表明, 受试接受阳极刺激后, 在歧义句判断任务中的反应时更快, 同时 n-back 任务的完成质量更高。Boehringer et al. (2013)受试接受阴极刺激后在工作记忆任务中的表现较假刺激条件下更差。Fiori et al. (2014)发现, 阳极经颅直流电刺激可以促进健康受试在绕口令任务中的表现, 即反应时加快, 准确率提高; 阴极刺激则造成相反的效果。也有研究发现, 阴极刺激可以促进任务表现。如 Bruckner 和 Kammer (2017)的研究中, 在同样接受 20 分钟经颅直流电刺激后, 阴极刺激组的表现比假刺激组更好, 词汇判断任务(lexical decision)的反应时更快。Gnedikh et al. (2022)的研究发现, 接受了阴极经颅直流电刺激的组别在抽象词记忆任务中, 其正确率显著高于假刺激组。在本实验中, 与假

刺激相比, 抽象词语义判断任务和数字判断任务在阳极刺激条件下, 反应时均显著变快。支持了前研究中认为阳极经颅直流电可以促进任务表现的观点。然而, 与假刺激相比, 抽象词语义判断和具体词语义判断任务的反应时在阴极刺激下也明显变快, 与此前研究中认为的阴极刺激使任务表现变差的观点相反, 支持了此前 Kammer 和 Gnedykh 等人发现阴极刺激促进任务表现的结果(Bruckner & Kammer, 2017; Kurmakaeva et al., 2021; Gnedykh et al., 2022)。

5. 总结

本研究通过经颅直流电刺激的手段, 结合数字判断任务和语义判断任务的实验范式, 探究左侧额下回在汉语抽象词语义处理中的作用。结果发现, 左侧额下回在接受阳极和阴极经颅直流电刺激后, 抽象词判断任务反应时较假刺激后更快, 进一步证明了左侧额下回在汉语抽象语义加工的过程中扮演了重要的角色。

基金项目

本研究为西南石油大学国际油气资源区语言文化研究中心资助项目(YQCX2021012; YQWH2021008)阶段性成果。

参考文献

- 靳光瑾, 肖航, 富丽(2005). 现代汉语语料库建设及深加工. *语言文字应用*, (2), 111-120.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-5397.2005.02.017>
- 肖航(2010). 现代汉语通用平衡语料库建设与应用. *华文世界(台湾)*, 106(12), 24-29.
- 肖航(2016). *语料库词义标注研究*. 云南教育出版社.
- 徐舒, 李泓钰, 杜晓霞(2018). 经颅直流电刺激治疗脑卒中后失语研究进展. *中国现代神经病学杂志*, 18(6), 461-466.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6731.2018.06.014>
- 张娜, 翁旭初, 罗本燕(2006). 汉字阅读加工的功能磁共振研究进展. *国际脑血管病杂志*, (3), 216-218
- 张茜(2020). *基于TMS和fMRI技术对语言认知过程的脑机制研究*. 博士学位论文, 成都: 电子科技大学.
- 张圆(2019). *藏-汉双语者的抽象词语义表征及脑机制*. 硕士学位论文, 石家庄: 河北师范大学.
- Binder, J. R., Westbury, C. F., McKiernan, K. A., Possing, E. T., & Medler, D. A. (2005). Distinct Brain Systems for Processing Concrete and Abstract Concepts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 905-917.
<https://doi.org/10.1162/0898929054021102>
- Binney, R. J., Embleton, K. V., Jefferies, E., Parker, G. J., & Ralph, M. A. (2010). The Ventral and Inferolateral Aspects of the Anterior Temporal Lobe Are Crucial in Semantic Memory: Evidence from a Novel Direct Comparison of Distortion-Corrected fMRI, rTMS, and Semantic Dementia. *Cerebral Cortex*, 20, 2728-2738.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhq019>
- Boehringer, A., Macher, K., Dukart, J., Villringer, A., & Pleger, B. (2013). Cerebellar Transcranial Direct Current Stimulation Modulates Verbal Working Memory. *Brain Stimulation*, 6, 649-653. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.10.001>
- Borghini, A. M., Barca, L., Binkofski, F., & Tummolini, L. (2018). Abstract Concepts, Language and Sociality: From Acquisition to Inner Speech. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 373, 20170134.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0134>
- Bruckner, S., & Kammer, T. (2017). Both Anodal and Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation Improves Semantic Processing. *Neuroscience*, 343, 269-275. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.12.015>
- Chen, B., Liang, L., Cui, P., & Dunlap, S. (2014). The Priming Effect of Translation Equivalents across Languages for Concrete and Abstract Words. *Acta Psychologica*, 153, 147-152. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.10.004>
- Chen, T. C., & Lin, Y. Y. (2012). High Neuromagnetic Activation in the Left Prefrontal and Frontal Cortices Correlates with Better Memory Performance for Abstract Words. *Brain and Language*, 123, 42-51.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.07.005>
- Davey, J., Cornelissen, P. L., Thompson, H. E., Sonkusare, S., Hallam, G., Smallwood, J., & Jefferies, E. (2015). Automatic and Controlled Semantic Retrieval: TMS Reveals Distinct Contributions of Posterior Middle Temporal Gyrus and Angular

- Gyrus. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 35, 15230-15239. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4705-14.2015>
- Davey, J., Thompson, H. E., Hallam, G., Karapanagiotidis, T., Murphy, C., De Caso, I., Krieger-Redwood, K., Bernhardt, B. C., Smallwood, J., & Jefferies, E. (2016). Exploring the Role of the Posterior Middle Temporal Gyrus in Semantic Cognition: Integration of Anterior Temporal Lobe with Executive Processes. *NeuroImage*, 137, 165-177. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.051>
- Della Rosa, P. A., Catricala, E., Canini, M., Vigliocco, G., & Cappa, S. F. (2018). The Left Inferior Frontal Gyrus: A Neural Crossroads between Abstract and Concrete Knowledge. *NeuroImage*, 175, 449-459. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.04.021>
- Ding, J., Liu, W., & Yang, Y. (2017). The Influence of Concreteness of Concepts on the Integration of Novel Words into the Semantic Network. *Frontiers in Psychology*, 8, Article No. 2111. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02111>
- Feng, S. W., Qi, R. N., Yang, J., Yu, A. Y., & Yang, Y. M. (2020). Neural Correlates for Nouns and Verbs in Phrases during Syntactic and Semantic Processing: An fMRI Study. *Journal of Neurolinguistics*, 53, Article ID: 100860. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2019.100860>
- Fiori, V., Cipollari, S., Caltagirone, C., & Marangolo, P. (2014). "If Two Witches Would Watch Two Watches, Which Witch Would Watch Which Watch?" tDCS over the Left Frontal Region Modulates Tongue Twister Repetition in Healthy Subjects. *Neuroscience*, 256, 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.10.048>
- Floel, A., Rosser, N., Michka, O., Knecht, S., & Breitenstein, C. (2008). Noninvasive Brain Stimulation Improves Language Learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 1415-1422. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20098>
- Fu, S., Chen, Y., Smith, S., Iversen, S., & Matthews, P. M. (2002). Effects of Word Form on Brain Processing of Written Chinese. *NeuroImage*, 17, 1538-1548. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1155>
- Gnedykh, D., Tsvetova, D., Mkrtychian, N., Blagovechtchenski, E., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2022). Broca's Area Involvement in Abstract and Concrete Word Acquisition: tDCS Evidence. *Neurobiology of Learning and Memory*, 192, Article ID: 107622. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2022.107622>
- Heth, I., & Lavidor, M. (2015). Improved Reading Measures in Adults with Dyslexia Following Transcranial Direct Current Stimulation Treatment. *Neuropsychologia*, 70, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.022>
- Hussey, E. K., Ward, N., Christianson, K., & Kramer, A. F. (2015). Language and Memory Improvements Following tDCS of Left Lateral Prefrontal Cortex. *PLOS ONE*, 10, e0141417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141417>
- Joyal, M., & Fecteau, S. (2016). Transcranial Direct Current Stimulation Effects on Semantic Processing in Healthy Individuals. *Brain Stimulation*, 9, 682-691. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.05.003>
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F., Smith, A. M., Mendrek, A., Hare, R. D., & Forster, B. B. (1999). Neural Pathways Involved in the Processing of Concrete and Abstract Words. *Human Brain Mapping*, 7, 225-233. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0193\(1999\)7:4<225::AID-HBM1>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0193(1999)7:4<225::AID-HBM1>3.0.CO;2-P)
- Kounios, J., & Holcomb, P. J. (1994). Concreteness Effects in Semantic Processing: ERP Evidence Supporting Dual-Coding Theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 804-823. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.4.804>
- Kurmakaeva, D., Blagovechtchenski, E., Gnedykh, D., Mkrtychian, N., Kostromina, S., & Shtyrov, Y. (2021). Acquisition of Concrete and Abstract Words Is Modulated by tDCS of Wernicke's Area. *Scientific Reports*, 11, Article No. 1508. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79967-8>
- Malyutina, S., & Ouden, D.-B. (2015). High-Definition tDCS of Noun and Verb Retrieval in Naming and Lexical Decision. *NeuroRegulation*, 2, 111-125. <https://doi.org/10.15540/nr.2.3.111>
- Marangolo, P., Fiori, V., Cipollari, S., Campana, S., Razzano, C., Di Paola, M., Koch, G., & Caltagirone, C. (2013). Bi-hemispheric Stimulation over Left and Right Inferior Frontal Region Enhances Recovery from Apraxia of Speech in Chronic Aphasia. *The European Journal of Neuroscience*, 38, 3370-3377. <https://doi.org/10.1111/ejn.12332>
- Minamoto, T., Azuma, M., Yaoi, K., Ashizuka, A., Mima, T., Osaka, M., Fukuyama, H., & Osaka, N. (2014). The Anodal tDCS over the Left Posterior Parietal Cortex Enhances Attention toward a Focus Word in a Sentence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article No. 992. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00992>
- Noppeney, U., & Price, C. J. (2004). Retrieval of Abstract Semantics. *NeuroImage*, 22, 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.010>
- Papagno, C., Fogliata, A., Catricala, E., & Miniussi, C. (2009). The Lexical Processing of Abstract and Concrete Nouns. *Brain Research*, 1263, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.01.037>
- Papagno, C., Martello, G., & Mattavelli, G. (2013). The Neural Correlates of Abstract and Concrete Words: Evidence from Brain-Damaged Patients. *Brain Science*, 3, 1229-1243. <https://doi.org/10.3390/brainsci3031229>
- Pearce, J. W. (2007). PsychoPy—Psychophysics Software in Python. *The Journal of Neuroscience Methods*, 162, 8-13.

- <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.11.017>
- Pereira, J. B., Junque, C., Bartres-Faz, D., Marti, M. J., Sala-Llloch, R., Compta, Y., Falcon, C., Vendrell, P., Pascual-Leone, A., Valls-Sole, J., & Tolosa, E. (2013). Modulation of Verbal Fluency Networks by Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) in Parkinson's Disease. *Brain Stimulation*, 6, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.01.006>
- Sabsevitz, D. S., Medler, D. A., Seidenberg, M., & Binder, J. R. (2005). Modulation of the Semantic System by Word Imageability. *NeuroImage*, 27, 188-200. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.04.012>
- Shallice, T., & Cooper, R. P. (2013). Is There a Semantic System for Abstract Words? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article No. 175. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00175>
- Tan, L. H., Liu, H. L., Perfetti, C. A., Spinks, J. A., Fox, P. T., & Gao, J. H. (2001). The Neural System Underlying Chinese Logograph Reading. *NeuroImage*, 13, 836-846. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0749>
- Thielscher, A., Antunes, A., & Saturnino, G. B. (2015). Field Modeling for Transcranial Magnetic Stimulation: A Useful Tool to Understand the Physiological Effects of TMS? In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 222-225). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318340>
- Tsai, P. S., Yu, B. H., Lee, C. Y., Tzeng, O. J., Hung, D. L., & Wu, D. H. (2009). An Event-Related Potential Study of the Concreteness Effect between Chinese Nouns and Verbs. *Brain Research*, 1253, 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.10.080>
- Wang, J., Conder, J. A., Blitzer, D. N., & Shinkareva, S. V. (2010). Neural Representation of Abstract and Concrete Concepts: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies. *Human Brain Mapping*, 31, 1459-1468. <https://doi.org/10.1002/hbm.20950>
- Wang, X., Wu, W., Ling, Z., Xu, Y., Fang, Y., Wang, X., Binder, J. R., Men, W., Gao, J. H., & Bi, Y. (2018). Organizational Principles of Abstract Words in the Human Brain. *Cerebral Cortex*, 28, 4305-4318. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx283>
- Whatmough, C., Verret, L., Fung, D., & Chertkow, H. (2004). Common and Contrasting Areas of Activation for Abstract and Concrete Concepts: An H2 15O PET Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1211-1226. <https://doi.org/10.1162/0898929041920540>
- Whitney, C., Kirk, M., O'Sullivan, J., Lambon Ralph, M. A., & Jefferies, E. (2011). The Neural Organization of Semantic Control: TMS Evidence for a Distributed Network in Left Inferior Frontal and Posterior Middle Temporal Gyrus. *Cerebral Cortex*, 21, 1066-1075. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq180>
- Zhang, Q., Guo, C. Y., Ding, J. H., & Wang, Z. Y. (2006). Concreteness Effects in the Processing of Chinese Words. *Brain and Language*, 96, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2005.04.004>
- Zhang, Q., Wang, H., Luo, C., Zhang, J., Jin, Z., & Li, L. (2019). The Neural Basis of Semantic Cognition in Mandarin Chinese: A Combined fMRI and TMS Study. *Human Brain Mapping*, 40, 5412-5423. <https://doi.org/10.1002/hbm.24781>