

双选择Oddball范式在行为抑制控制研究中的应用

袁加锦, 徐萌萌, 杨洁敏 and 李红

Citation: [中国科学: 生命科学](#) **47**, 1065 (2017); doi: 10.1360/N052017-00125

View online: <http://engine.scichina.com/doi/10.1360/N052017-00125>

View Table of Contents: <http://engine.scichina.com/publisher/scp/journal/SSV/47/10>

Published by the [《中国科学》杂志社](#)

Articles you may be interested in

[情绪反应习惯化的正性优势: 行为与电生理证据](#)
科学通报 **60**, 3594 (2015);

[银鲫卵对两类精核发育的初级控制作用模式的研究](#)
中国科学B辑: 化学 生命科学 地学 **21**, 1160 (1991);

[智能双通道交通流系统中的先进信息反馈策略](#)
中国科学: 信息科学 **40**, 1530 (2010);

[干扰项注意水平对选择性注意抑制过程的影响](#)
科学通报 **50**, 1613 (2005);

[选择激发脉冲的有限脉宽响应滤波设计方法](#)
科学通报 **42**, 596 (1997);



双选择Oddball范式在行为抑制控制研究中的应用

袁加锦^{1†*}, 徐萌萌^{1†}, 杨洁敏¹, 李红^{2*}

1. 西南大学心理学部, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715;
2. 深圳大学心理与社会学院, 脑功能与心理科学研究中心, 深圳 518060

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: yuanjiaj@swu.edu.cn; lihongwm@vip.sina.com

收稿日期: 2017-06-05; 接受日期: 2017-06-29; 网络版发表日期: 2017-08-14

国家自然科学基金(批准号: 31671164, 31371042)资助

摘要 行为抑制控制是个体对自身不恰当的、冲动的行为模式的抑制控制. 这一功能对于人类的生存适应具有重要意义. Go/Nogo范式和Stop Signal范式(停止信号范式)是研究行为抑制控制及其认知神经基础的经典实验范式. 在Go/Nogo范式中, 被试仅对Go刺激做按键反应而对Nogo刺激不做反应. 因此, 该范式反映个体行为抑制控制功能的行为学指标过于依赖正确率, 并且在提取抑制相关神经活动指标时难以排除运动相关因素的干扰. 另一方面, 停止信号范式要求通过梯度变化停止信号间隔, 以保证被试在大约50%试次成功停止而另外50%试次停止失败, 从而计算出反映行为抑制控制功能的停止信号反应时间. 因此该范式损失了准确率指标, 并且难以克服Go反应所诱发的神经活动对停止信号所诱发神经激活的污染. 鉴于此, 本课题组引入了双选择Oddball范式以期有效控制上述干扰因素, 从而获得可灵敏反映行为抑制控制功能的综合性行为指标和神经生理指标. 以反应时代价与准确率代价为主要行为学指标, 双选择Oddball范式已被证实可以用于3个方面的研究: (i) 可以用于行为抑制控制功能的个体差异研究(以性别差异为例); (ii) 可以用于研究个体内行为抑制控制的影响因素(以情绪及其强度为例); (iii) 可以用于物质成瘾的相关研究(以吸烟成瘾为例). 这提示双选择Oddball范式可以广泛应用于行为抑制控制能力及其影响因素的灵敏测量与干预评估研究中.

关键词 行为抑制控制, 双选择Oddball范式, 反应时代价, Go/Nogo范式, Stop Signal范式

行为抑制控制(behavioral inhibitory control, BIC), 也称为反应抑制, 是个体对自身不恰当的、冲动的行为模式的抑制控制. 对不恰当的优势行为方式的抑制, 对于个体适应环境的变化具有重要意义^[1,2]. 作为执行功能的一个重要方面, 在现代社会中抑制不当行为的能力对于个人取得成就具有至关重要的作用, 并且很有可能在人类智力进化的历史上, 尤其是社会智力进化的历史上起关键的作用^[3]. 这种行为控制能力涉及

多个过程, 包括对反应信号的觉察、反应冲突的监控和下一阶段的反应抑制^[2,4,5].

在以往BIC的研究中, 研究者常使用Go/Nogo范式和Stop Signal范式作为实验任务^[1,2,4]. 在Go/Nogo任务中通常具有两类刺激: Go刺激和Nogo刺激. 被试经常被要求当Go刺激出现时尽可能快地做出反应, 而当Nogo刺激出现时克制住自己的反应, 因此在对Nogo刺激不作反应的过程中就出现了反应的行为抑制控制,

引用格式: 袁加锦, 徐萌萌, 杨洁敏, 等. 双选择Oddball范式在行为抑制控制研究中的应用. 中国科学: 生命科学, 2017, 47: 1065–1073
Yuan J J, Xu M M, Yang J M, et al. The application of the two-choice oddball paradigm to the research of behavioral inhibitory control (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2017, 47: 1065–1073, doi: [10.1360/N052017-00125](https://doi.org/10.1360/N052017-00125)

而Go和Nogo条件之间在行为或者神经生理指标上的差异则被认为反映了行为抑制控制过程^[4,6]。Go/Nogo任务最大的优点在于简便易行,在ERP研究和fMRI的研究中都有广泛的应用^[1,2,7-9]。但在行为抑制控制的研究中,由于在该范式中被试对Nogo刺激不作反应,无法将Go刺激与Nogo刺激进行反应时的对比,从而丧失了反应时指标。因此,该范式中行为抑制控制的行为学指标仅依赖于Nogo条件与Go条件相比正确率的下降^[6,7]。尽管部分研究将观测到Nogo条件相比Go条件出现更高的错误率作为行为抑制控制的行为学依据^[6,7,10],但多项研究表明,正确率下降这一指标检测行为抑制控制的灵敏度不足,使得Go/Nogo条件之间准确率差异不显著^[1,9,11]。部分研究甚至直接省略行为学数据的分析^[10,12]。这一状况使得Go/Nogo任务常常难以作为行为抑制控制过程的存在提供有力的行为学支撑,导致生理与成像数据的解释力度不足^[1,9,10,12,13]。于丽霞等人^[13]在自伤青少年的冲动性的研究中使用Go/Nogo范式中的Go反应时、Nogo错误反应的反应时以及反应的错误率作为行为学指标,结果并未发现Go反应与Nogo反应之间错误率存在显著差异。尽管有研究者对比了Nogo条件下的错误反应时间与Go条件下正确反应时间的差异,但其差异模式在不同研究之间缺乏汇聚性,认知意义解释困难^[1,13,14]。更重要的是,在低错误率的情况下,Nogo试次的错误反应时与Go试次的正确反应时其本身并不适合进行统计分析与对比^[6]。上述证据提示,Go/Nogo范式的行为学指标并不总能有效地为假设提供行为证据支撑。

与Go/Nogo范式相比,Stop Signal范式(即停止信号任务)中包含了反应时指标。该范式通常包括反应试次(Go trials)和停止试次(Stop trials),所有试次均包含反应信号,但在其中的少部分试次中(如20%),反应信号之后将紧接着出现停止信号,而被试需要在觉察到停止信号后,终止对反应信号的按键反应倾向^[2,15-17]。反应刺激与停止刺激之间的时间间隔,即停止信号间隔(stop-signal delay, SSD),是按照研究者预定的数值予以控制的。若SSD的值过大,被试很可能无法停止对反应信号做出的动作倾向,因而错误率升高;而SSD的值过小则个体很容易正确停止,从而导致错误率的降低^[2]。因此为了确定合适的SSD值,研究者通常使用阶梯法递增或者递减SSD的值,从而使被试在大约50%的停止试次中成功停止反应。由此计算出每个被

试的平均SSD,然后将Go反应时间减去平均SSD的差值作为被试的停止信号反应时间(stop signal reaction time, SSRT)^[18]。SSRT即为个体行为抑制控制能力的行为学指标:SSRT越长,表明被试的行为抑制控制能力越弱^[2]。

但Stop Signal范式在应用于行为抑制控制研究时仍存在一些局限。(i) Stop Signal范式中计算平均SSD的基线时长、刻度大小和前提条件是研究者人为设定的,且SSRT计算的过程较为繁琐。迄今为止,SSD的起始值与变化梯度的设定缺乏客观标准。与实验直接记录的反应时间不同,SSRT是基于50%正确率下的平均SSD与Go反应时计算得到的间接指标,而不是行为抑制控制的直接测量指标。由于各项研究之间计算SSD所采用的起始单位与梯度标准往往是不同的,这使得SSRT的数值主观性强,在不同研究之间缺乏可比性^[2,15]。此外,仅在50%的停止试次中成功停止属于理想化状态,在实际研究中往往不能实现^[2]。(ii) 由于须在接近50%试次成功停止行为反应,该任务无法提供正确率指标,从而使得该任务的行为学指标过于单薄,对行为抑制控制能力个体差异的检测不够灵敏^[2,15]。(iii) 由于每个试次中反应信号和停止信号的间隔不同,停止信号任务中停止信号所诱发的神经信号难以排除由之前的反应信号所导致的混叠。因此无论使用何种神经生理活动的记录手段,停止信号诱发的神经生理数据都会受到先前反应信号相关加工(如知觉编码、刺激辨别与反应准备等)的污染^[16,17,19]。尽管有研究者通过采用停止信号的ERP减去对应时间点上反应信号所诱发ERP的方法来获得相对纯净的脑电信号^[16],但众所周知差异波的波幅可能来源于原始脑电潜伏期的差异,其信噪比远低于刺激所直接诱发的平均脑电信号^[20]。(iv) 该范式下的行为抑制控制是行为发生过程中的指导性停止,即在反应刺激已经出现后给予停止的信号,而不是被试按照预先规则自发进行的对不当行为的抑制。在现实生活中,既有在刺激出现后通过别人指导或制止的指导性停止,也有个体按内、外部规则对不适当行为模式的自发抑制。因此,停止信号范式可能更适合于研究在行为发生过程中的指导性的行为抑制控制。

基于此,新的实验范式的行为指标应当尽可能丰富,行为抑制控制指标的计算应直接简便,以增强对实验结果的行为数据支持;此外,新范式的实验过程与逻辑

辑应尽可能简洁, 避免神经生理数据的解释混淆. 在这一原则的指导下, 本研究组将经典的Oddball范式改编为适合研究自发性行为抑制控制的双选择Oddball范式. 已有研究提示, 采用双选择Oddball范式开展行为抑制控制相关研究能在一定程度上弥补前述两种范式的不足之处(图1)^[1,2,5].

1 双选择Oddball范式及其任务性质分析

经典Oddball范式是在一项实验中随机呈现同一感觉通道的两种刺激, 两种刺激的概率相差很大. 其中, 大概率的刺激称之为标准刺激(standard stimulus), 小概率的刺激称之为偏差刺激(deviant stimulus). 偏差刺激的概率小于30%, 通常为20%左右; 标准刺激的概率大于70%, 通常为80%左右^[21]. 在经典Oddball任务中, 被试的任务是觉察小概率目标的出现, 即当偏差刺激出现便进行按键反应, 或数偏差刺激出现的个数^[21]. 双选择Oddball范式由经典Oddball范式演变而来, 最初用于失匹配负波(mismatch negativity, MMN)和注意的研究^[22,23], 于2008年被Yuan等人^[5,24]改编后正式引入到行为抑制控制研究领域. 经过改编的双选择Oddball范式要求被试对短时呈现的高概率标准刺激和低概率偏差刺激都尽可能准确地, 然后在此基础上快速地(在刺激呈现时间内)做出不同的按键反应^[5]. 由于标准刺激所对应的按键频率很高, 而偏差刺激所对应的按键频率很低; 因此在低频率的偏差刺激出现后, 被试需要抑制业已形成的对标准刺激

的优势按键倾向, 从而确保对偏差刺激能做出正确的反应. 因此, 偏差刺激出现之后, 由于需要卷入对优势行为反应模式的抑制, 很可能出现偏差刺激相比标准刺激的反应时间延长和错误率的上升^[25,26]. 而这种偏差刺激与标准刺激之间在反应时间与反应正确率上的差别可以看作是行为抑制控制的指标, 并同时记录脑电(electroencephalogram, EEG)或功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)数据^[26]. 研究表明, 双选择Oddball范式能够有效诱导行为抑制控制的产生^[25], 且具有两个行为指标: 偏差刺激相比标准刺激的反应时延迟(即反应时代价, RT cost)和反应准确率的下降(即准确率代价)^[26]. (i) 被试对偏差刺激相比标准刺激的正确率下降越少, 表明被试的行为抑制控制能力越强; 下降越多则表明被试的行为抑制控制能力越弱. (ii) 在准确率相似的前提下, 反应时代价数值的大小也能表征个体的行为抑制控制功能. 即, 即便准确率数据未能检测到显著的个体间或个体内差异, 反应时代价的增大也能作为个体行为抑制能力减弱的有效指标. 并且已有证据显示该反应时代价指标与行为抑制直接相关的脑电P3波幅存在可靠关联^[25,26]. (iii) 由于该范式要求被试对标准刺激和偏差刺激均需进行行为反应, 且被试间平衡反应方式与刺激类型的对应关系, 因此两种刺激类型在电生理或神经成像指标上的差异很大程度上可独立于动作准备或动作执行因素的干扰, 从而使得实验结果解释的唯一性得到提高.

值得注意的是, 先前采用fMRI技术的行为抑制

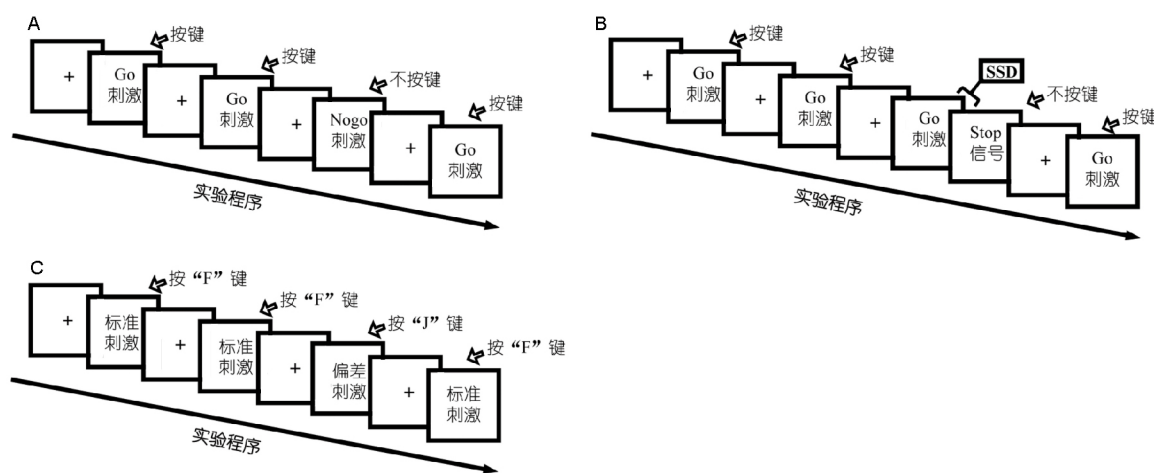


图1 Go/Nogo范式(A), Stop Signal范式(B)与双选择Oddball范式(C)的任务程序示意图

控制研究一致认为行为抑制控制的神经基础是额叶-基底神经节回路^[27,28], 其中关键的脑区有内侧额上回及中央前回额叶皮层^[2], 眶额叶以及前扣带回(anterior cingulate cortices, ACC)^[27]. 与脑成像的研究结论一致, 采用传统实验范式(即Go/Nogo范式或Stop Signal范式)的行为抑制控制研究表明, ERP成分中的N2成分反映了冲动监控, 其波幅在头皮中央或前额区最大, 其发生源位于与行为监控有关的前运动区或ACC^[6,9,11,14,29]; P3成分反映了抑制控制加工, 其地形分布则主要分布在中央区或额中央区, 其发生源主要在ACC, 外侧眶额叶皮层等^[4,7,12]. 而采用传统Oddball范式的研究表明, ERP中的N2成分在枕区或顶颞区分布, 反映偏离觉察(deviance detection)^[30,31], P3分布在顶区, 反映了工作记忆的更新和认知资源的再分配^[32-34]. 通过对文献的分析可知, 双选择Oddball范式所诱发的N2/P3成分的头皮地形分布与前述行为抑制控制研究得出的地形分布更为相似, 而与经典Oddball范式中N2/P3的头皮分布不同^[5,25,26]. 例如, Yuan等人^[5]采用双选择Oddball范式研究行为抑制控制性别差异的工作发现, 无论性别, 行为抑制控制相关的N2波幅都在中央区与前额区最为显著. 此外, Yuan等人^[26]近期使用双选择Oddball范式和ERP技术探究了情绪对行为抑制控制的影响. 经过主成分分析表明, 冲突监控相关的N2成分其最大波幅出现在额-中央区, 而仅有中央区分布的早期P3是行为抑制加工的有效指标. 这与前人所观测到的行为抑制控制相关的N2和P3其形态和功能相吻合. 由此可知, 双选择Oddball范式所诱发的行为抑制控制相关脑电成分与Go/Nogo范式下的相关成分更为相似. 综上所述, 双选择Oddball范式能为行为抑制控制的研究提供更加丰富、灵敏的行为学指标, 其行为学指标的计算方法更为简单直接, 适用于研究自发性行为抑制控制过程. 并且, 该范式下电生理指标的解释相比传统实验范式较少受到动作准备与动作执行的干扰^[26].

2 双选择Oddball范式研究行为抑制控制的应用举例

2.1 行为抑制控制个体差异研究领域: 以性别差异为例

进化心理学的理论认为, 由于社会分工与进化需

求的不同, 女性对不适当的, 冲动行为的抑制相比男性具有更为重要的适应意义^[3,35]. Kochanska等人^[36]研究表明, 年龄在22~33个月的女孩在行为自控能力的几乎所有方面都要胜过同龄的男孩. 来自成年群体的研究证据显示, 在血液上酒精浓度相似的情况下, 酒精对男性行为抑制能力的损伤要显著高于女性^[37,38]. 然而, 对于成年人群的行为抑制控制功能而言究竟是否存在普遍的性别差异规律并无直接研究. Li等人^[2,39]使用Stop Signal范式对行为抑制控制的性别差异进行了研究. 结果表明, 在行为指标上并不存在显著的性别差异, 但加工停止信号时女性相比男性其前额叶控制区域的激活要更弱. 尽管该结果可以解释为达到同等程度的行为抑制控制的行为表现, 男性需要付出比女性更多的认知资源; 但缺乏行为抑制的显著行为学差异, 使得神经生理数据的解释力度不足. 这可能与停止信号范式本身的特点, 尤其是SSRT计算方法的局限与灵敏度不足有关^[2,39]. 如果能够采用一种可提供更加灵敏直接的行为学指标的实验范式进行实验, 则很有可能可以探测到行为抑制控制在行为学上的性别差异.

基于此, Yuan等人^[5]使用双选择Oddball范式, 以30名男女各半的在校大学生为被试来研究健康成年个体其行为抑制控制功能是否存在系统的性别差异规律. 实验包括4个组块(block)共400个试次, 每个block标准刺激与偏差刺激的概率比为75% vs. 25%. 在实验过程中同时记录被试的准确率, 反应时间并采用ERP技术记录被试的电生理数据. 结果发现, (i) 无论男女, 所有被试均报告对偏差刺激的反应要比标准刺激的反应更加犹豫, 并容易出错; 但准确率数据并未发现显著性别差异; (ii) 男女性均对偏差刺激相比标准刺激其反应时间出现了显著延迟, 且男性的反应时代价(即延迟量, RT cost)要显著大于女性; 男女性被试对标准刺激的反应时间无显著差异, 但男性对偏差刺激的反应时间比女性的更长; (iii) 在脑电数据上, 女性能够比男性更快的觉察反应冲突并能更快地执行抑制控制加工, 表现为女性N2成分、P3成分出现更短的潜伏期和更大的波幅. 即女性比男性具有更好的行为抑制控制能力. 上述结果提示, 双选择Oddball范式所提供的反应时间指标能更为灵敏地反映行为抑制控制能力的个体差异.

2.2 个体内行为抑制控制的影响因素研究: 以情绪为例

前人研究表明, 人类的情绪活动与抑制控制功能存在着复杂的交互作用^[24,40,41], 且情绪不仅有正负之分, 还有有效价强度的差别, 但不同类型的情绪是怎么影响行为抑制控制的研究并不充分. Yu等人^[9]以Go/Nogo范式为研究方法, 以50种正性、负性和中性情绪声音为研究材料, 并同时使用ERP技术记录生理数据探究了听觉诱导的情绪对行为抑制控制的影响. 结果发现, 尽管在脑电层面ERP数据显示情绪对个体的行为抑制控制具有调节作用, 但行为指标中的错误率并没有显著差异, 因此不能为电生理数据所得的结论提供有效的行为学证据的支撑. 为了更好地探究情绪对行为抑制控制的影响, 辛勇等人^[42]采用双选择Oddball范式进行了一项实验研究. 刺激材料分为标准刺激和偏差刺激(比例为85% vs. 15%), 标准刺激为一张凳子的自然景物图片, 偏差刺激为负性中性与正性情绪图片各25张. 实验程序和流程与前述性别差异的研究方法相类似. 结果发现, 偏差刺激诱发了显著的行为抑制控制效应, 该效应集中表现为额中央区的N2和中央区P3活动, 且在负性情绪刺激下, 被试对偏差刺激的反应代价显著增大. 这提示了视觉情绪对行为抑制控制过程可能有显著影响. 该影响主要表现为负性情绪对行为控制功能的干扰作用.

此外, 为了排除情绪材料之间的相互干扰, Wang等人^[25]后续研究采用组块设计的方法, 在一个组块中仅呈现一种类型的情绪偏差刺激. 以此分离出每种情绪刺激下的行为控制效应. 其余实验方法与上述研究相似. 实验结果发现, 无论哪种情绪, 偏差刺激均导致了反应时间的显著延长和正确率的显著下降, 即出现了显著的反应时代价与准确率代价. 这一结果为评估每种情绪下个体的行为抑制控制功能提供了行为学支撑. 并通过反应时代价与脑电指标的关联分析, 进一步验证了负面情绪对于行为抑制控制功能的干扰作用. 双选择Oddball范式下多项行为学指标表征行为抑制控制过程的优势, 在随后所开展的情绪强度影响行为抑制控制脑内加工的研究中得到了更充分的体现^[26]. 该项研究依然采用组块设计的方法与ERP技术, 在不同的组块中分别采用高、低强度的积极与消

极情绪刺激图片作为小概率偏差刺激. 将标准刺激与偏差刺激的概率差设置为85% vs. 15%以充分诱发行行为抑制加工. 结果发现, 无论情绪效价与强度, 偏差刺激所对应的反应时间均显著长于而准确率显著低于标准刺激条件, 再一次通过综合性的行为学指标充分证实了行为抑制控制加工的存在. 并且, 由于反应时代价(RT cost)与中央区的P3波幅存在显著负相关, 因此可推论出在强负性情绪条件下更小的P3波幅预示着更长的反应时代价和更弱的行为控制能力^[26]. 这些证据进一步显示, 双选择Oddball范式可灵敏、有效地测量个体的行为抑制控制功能及其受影响的程度.

2.3 物质成瘾的相关研究领域: 以吸烟成瘾为例

一般来说, 对于吸烟者, 与香烟相关的线索能够引发个体对香烟的渴望, 可能会引起对吸烟线索的自发性注意偏向^[43,44], 而这种注意偏向需要占用个体的认知资源^[45,46], 这可能影响个体对于此类线索的行为抑制控制反应. 一些相关研究提示, 吸烟者面对香烟相关的线索其抑制控制能力受损^[47-53]. 近年来, 一些研究使用ERP技术发现, 吸烟相关线索会影响吸烟者脑的抑制控制功能^[54,55]. 但香烟是否会影响男性轻度烟瘾个体对香烟相关线索的行为抑制控制能力还未知. 因此Zhao等人以31名吸烟男性大学生和31名不吸烟的男性大学生为被试, 以双选择Oddball范式为实验范式, 以27张香烟相关图片作为偏差刺激, 27张与香烟无关的图片作为标准刺激探究是否轻度烟瘾个体对香烟相关线索的行为抑制控制能力是否比不吸烟的个体的行为抑制控制能力更弱. 实验共有2个组块, 每个组块包括170个标准刺激和30个偏差刺激(概率为85% vs. 15%). 本实验的双选择Oddball范式的操作流程与前述性别差异的研究方法相类似. 结果表明, 所有被试对偏差刺激的反应时间均显著长于且准确率显著低于标准刺激(即出现了显著的反应时代价与准确率代价); 轻度烟瘾被试对偏差刺激的反应时显著长于非吸烟被试的偏差刺激反应时, 而两组被试的标准刺激反应时无显著差别^[56]. 这提示了, 轻度烟瘾可能会降低男性被试的行为抑制控制能力. 该实验结果从成瘾的角度进一步表明, 双选择Oddball范式能有效诱发行行为抑制控制, 且其反应时代价指标能灵敏测量行为抑制控制能力的变化.

3 注意事项与研究展望

虽然上述证据表明, 双选择Oddball范式可以有效诱发并灵敏测量个体的行为抑制控制功能及其影响因素, 但该范式在研究实践中有如下事项需引起注意. 例如, 如何在实验设计之初充分考虑并控制新异性因素的影响. 由于研究问题的特点, 行为抑制控制是对优势行为进行抑制的过程, 需要设置一定的概率差来形成优势行为, 这在前人使用Go/Nogo范式和Stop Signal范式研究行为抑制控制的过程中也有应用^[7,9,15]. 因此在Oddball范式中, 标准刺激与偏差刺激的概率差与以往使用其他范式对行为抑制控制进行的研究并无不同. 对P300成分的相关研究表明, nogo-P3与novelty-P3具有相似的头皮分布、时间以及发生源^[33,34]. 这提示行为抑制相关刺激由于其低概率的特征其本身具有一定新异刺激的性质. 即便如此, 使用双选择Oddball范式研究行为抑制控制的实践仍可以采取一些措施尽可能降低这一影响. 为此, (i) 研究者可将标准与偏差刺激都设置成尽可能简单、熟悉的刺激. 并且, 做实验之前给予被试充分练习, 使得被试的反应正确率在练习阶段达到天花板(100%正确率), 从而让被试充分熟悉实验程序与刺激类型, 控制可能存在的练习效应与新异性效应. 要求被试在练习阶段达到100%准确率再开始正式实验, 以及在实验的每个组块结束后都反馈准确率的另一个好处, 是让被试充分且优先重视反应准确率, 从而有效避免速度-准确率的权衡问题. 并且, 在Go/Nogo范式与Stop-Signal范式等行为抑制控制的传统范式下, 被试的任务目标均是成功停止对抑制试次的行为反应, 因此准确率均是被试最为关心的实验指标. 从这种意义上说, 通过实验操纵让被试优先重视准确率, 能使采用该范式的研究结果与上述经典范式的结果具有更好的可比性. (ii) 实验前在刺激的选择上, 研究者需要挑选知觉属性区分度较高的标准刺激与偏差刺激, 以保证刺激辨别的难度较低, 从而使整个任务更侧重于行为反应的执行与抑制. (iii) 由于行为抑制控制的研究需要以优势行为的诱发为前提, 因此太长的试次间间隔(inter-trial interval)

不利于形成优势反应倾向, 从而阻碍行为抑制的有效诱发. 为了加强行为抑制控制诱发的效果, 建议研究者在使用双选择Oddball范式时尽量使用较短的试次间间隔时间.

前述证据^[5,25,26,42]共同提示双选择Oddball范式相对于Go/Nogo范式和Stop Signal范式在行为抑制控制的行为学检测与神经生理指标的提取上具有一定优势. 因此, 双选择Oddball范式具有广阔的应用前景. 赵鑫等人^[57]认为, 双选择Oddball范式可用于吸烟对个体行为抑制控制能力的影响的相关研究, 且比较双选择Oddball任务与Go/Nogo任务、Stop Signal任务所取得研究结果的异同会成为该领域今后研究的重点. 此外双选择Oddball范式还可应用于吸毒成瘾者行为冲动性的检测与干预研究. 前人研究表明, 吸毒行为损害个体行为抑制控制能力^[58], 采用合适的范式对行为抑制控制的相关因素及脑机制进行研究, 有助于实施有效的戒毒策略并评估吸毒患者行为抑制控制能力的康复^[59]. 此外, 已有理论和研究提示, 行为抑制控制能力可能在不同人格特质间, 如边缘性人格、反社会人格、冲动型人格等, 有不同的表现. 例如, 边缘性人格大学生的行为抑制控制功能受损^[60]. 使用双选择Oddball范式, 以反应时代价、准确率代价和神经生理数据为指标, 若结果表现为边缘性人格障碍被试对偏差刺激相比标准刺激的反应时延迟比正常被试更多, 或准确率下降更严重, 中央区P3波幅更小, 则提示边缘性人格障碍损害个体的行为抑制控制能力. 此外, 本范式也可以研究个体内行为抑制控制的影响因素, 例如认知资源的可获得性对行为抑制控制的影响. 已有研究表明, 自我消耗占用较多认知资源, 从而损害个体的抑制控制功能^[61]. 使用双选择Oddball范式若得出自我消耗的被试其反应时代价(RT cost)比无消耗被试显著增大, 准确率出现更大的降低, 则提示认知资源的消耗可能削弱了个体的行为抑制控制功能. 因此, 双选择Oddball范式能广泛地应用于行为抑制控制能力及其影响因素的灵敏测量与干预评估研究中.

参考文献

- 1 Goldstein M, Brendel G, Tuescher O, et al. Neural substrates of the interaction of emotional stimulus processing and motor inhibitory control: an emotional linguistic go/no-go fMRI study. *NeuroImage*, 2007, 36: 1026-1040

- 2 Li C S, Huang C, Constable R T, et al. Imaging response inhibition in a stop-signal task: neural correlates independent of signal monitoring and post-response processing. *J Neurosci*, 2006, 26: 186–192
- 3 Bjorklund D F, Shackelford T K. Differences in parental investment contribute to important differences between men and women. *Curr Dir Psychol Sci*, 1999, 8: 86–89
- 4 Donkers F C L, van Boxtel G J M. The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain Cogn*, 2004, 56: 165–176
- 5 Yuan J, He Y, Qinglin Z, et al. Gender differences in behavioral inhibitory control: ERP evidence from a two-choice oddball task. *Psychophysiology*, 2008, 45: 986–993
- 6 Nieuwenhuis S, Yeung N, van den Wildenberg W, et al. Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/no-go task: effects of response conflict and trial type frequency. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2003, 3: 17–26
- 7 Albert J, López-Martín S, Carretié L. Emotional context modulates response inhibition: neural and behavioral data. *NeuroImage*, 2010, 49: 914–921
- 8 杨苏勇, 黄宇霞, 张慧君, 等. 情绪影响行为抑制的脑机制. *心理科学进展*, 2010, 18: 605–615
- 9 Yu F, Yuan J, Luo Y. Auditory-induced emotion modulates processes of response inhibition: an event-related potential study. *Neuroreport*, 2009, 20: 25–30
- 10 Todd R M, Lewis M D, Meusel L A, et al. The time course of social-emotional processing in early childhood: ERP responses to facial affect and personal familiarity in a Go-Nogo task. *Neuropsychologia*, 2008, 46: 595–613
- 11 Bekker E M, Kenemans J L, Verbaten M N. Source analysis of the N2 in a cued Go/NoGo task. *Cogn Brain Res*, 2005, 22: 221–231
- 12 Bokura H, Yamaguchi S, Kobayashi S. Electrophysiological correlates for response inhibition in a Go/NoGo task. *Clin Neurophysiol*, 2001, 112: 2224–2232
- 13 于丽霞, 凌霄, 江光荣. 自伤青少年的冲动性. *心理学报*, 2013, 45: 320–335
- 14 Falkenstein M, Hooermann J, Hohnsbein J. ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol*, 1999, 101: 267–291
- 15 Rubia K, Smith A B, Brammer M J, et al. Abnormal brain activation during inhibition and error detection in medication-naïve adolescents With ADHD. *Am J Psychiatry*, 2005, 162: 1067–1075
- 16 Kok A, Ramautar J R, De Ruiter M B, et al. ERP components associated with successful and unsuccessful stopping in a stop-signal task. *Psychophysiology*, 2004, 41: 9–20
- 17 Ramautar J R, Kok A, Ridderinkhof K R. Effects of stop-signal probability in the stop-signal paradigm: the N2/P3 complex further validated. *Brain Cogn*, 2004, 56: 234–252
- 18 Logan G D. On the ability to inhibit thought and action: a users' guide to the stop signal paradigm. In: Dagenbach D, Carr T H, eds. *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language*. San Diego: Academic Press, 1994. 189–239
- 19 Senderecka M. Threatening visual stimuli influence response inhibition and error monitoring: an event-related potential study. *Biol Psychol*, 2016, 113: 24–36
- 20 张丹丹, 罗文波, 罗跃嘉. 面孔表情加工三阶段模型的单试次ERP证据. *中国科学: 生命科学*, 2013, 43: 643–656
- 21 魏景汉, 罗跃嘉. *事件相关电位原理与技术*. 北京: 科学出版社, 2010
- 22 Huettel S A, McCarthy G. What is odd in the oddball task? *Neuropsychologia*, 2004, 42: 379–386
- 23 Wei J H, Chan T C, Luo Y J. A modified oddball paradigm “cross-modal delayed response” and the research on mismatch negativity. *Brain Res Bull*, 2002, 57: 221–230
- 24 Yuan J J, Yang J M, Meng X X, et al. The valence strength of negative stimuli modulates visual novelty processing: electrophysiological evidence from an event-related potential study. *Neuroscience*, 2008, 157: 524–531
- 25 Wang Y, Yang J, Yuan J, et al. The impact of emotion valence on brain processing of behavioral inhibitory control: spatiotemporal dynamics. *Neurosci Lett*, 2011, 502: 112–116
- 26 Yuan J, Meng X, Yang J, et al. The valence strength of unpleasant emotion modulates brain processing of behavioral inhibitory control: neural correlates. *Biol Psychol*, 2012, 89: 240–251
- 27 Aron A R. The neural basis of inhibition in cognitive control. *Neuroscientist*, 2007, 13: 214–228
- 28 Dillon D G, Pizzagalli D A. Inhibition of action, thought, and emotion: a selective neurobiological review. *Appl Prevent Psychol*, 2007, 12: 99–114
- 29 Kim M, Lee T H, Choi J S, et al. Neurophysiological correlates of altered response inhibition in internet gaming disorder and obsessive-compulsive disorder: perspectives from impulsivity and compulsivity. *Sci Rep*, 2017, 7: 41742
- 30 Campanella S, Gaspard C, Debatiste D, et al. Discrimination of emotional facial expressions in a visual oddball task: an ERP study. *Biol Psychol*, 2002, 59: 171–186

- 31 Czigler I, Weisz J, Winkler I. ERPs and deviance detection: visual mismatch negativity to repeated visual stimuli. *Neurosci Lett*, 2006, 401: 178–182
- 32 Delplanque S, Silvert L, Hot P, et al. Arousal and valence effects on event-related P3a and P3b during emotional categorization. *Int J Psychophysiol*, 2006, 60: 315–322
- 33 Delplanque S, Silvert L, Hot P, et al. Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli. *Biol Psychol*, 2005, 68: 107–120
- 34 Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 2007, 118: 2128–2148
- 35 Bjorklund D F, Kipp K. Parental investment theory and gender differences in the evolution of inhibition mechanisms. *Psychol Bull*, 1996, 120: 163–188
- 36 Kochanska G, Murray K T, Harlan E T. Effortful control in early childhood: continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Dev Psychol*, 2000, 36: 220–232
- 37 Fillmore M T. Drug abuse as a problem of impaired control: current approaches and findings. *Behav Cogn Neurosci Rev*, 2003, 2: 179–197
- 38 Fillmore M T, Weafer J. Alcohol impairment of behavior in men and women. *Addiction*, 2004, 99: 1237–1246
- 39 Li C S R, Huang C, Constable R T, et al. Gender differences in the neural correlates of response inhibition during a stop signal task. *NeuroImage*, 2006, 32: 1918–1929
- 40 Gross J J. *The Handbook of Emotion Regulation*. New York: Guilford Press, 2007
- 41 Rowe G, Hirsh J B, Anderson A K. Positive affect increases the breadth of attentional selection. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104: 383–388
- 42 辛勇, 李红, 袁加锦. 负性情绪干扰行为抑制控制: 一项事件相关电位研究. *心理学报*, 2010, 42: 334–341
- 43 Johnsen B H, Thayer J F, Laberg J C, et al. Attentional bias in active smokers, abstinent smokers, and nonsmokers. *Addict Behav*, 1997, 22: 813–817
- 44 Waters A J, Feyerabend C. Determinants and effects of attentional bias in smokers. *Psychol Addict Behav*, 2000, 14: 111–120
- 45 Ehrman R N, Robbins S J, Bromwell M A, et al. Comparing attentional bias to smoking cues in current smokers, former smokers, and non-smokers using a dot-probe task. *Drug Alcohol Depend*, 2002, 67: 185–191
- 46 Ryan F. Detected, selected, and sometimes neglected: cognitive processing of cues in addiction. *Exp Clin Psychopharmacol*, 2002, 10: 67–76
- 47 Brody A L, Mandelkern M A, Jarvik M E, et al. Differences between smokers and nonsmokers in regional gray matter volumes and densities. *Biol Psychiat*, 2004, 55: 77–84
- 48 Franken I H. Drug craving and addiction: integrating psychological and neuropsychopharmacological approaches. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2003, 27: 563–579
- 49 Gallinat J, Meisenzahl E M, Jacobsen L K, et al. Smoking and structural brain deficits: a volumetric MR investigation. *Eur J Neurosci*, 2006, 24: 1744–1750
- 50 Luijten M, Littel M, Franken I H A. Deficits in inhibitory control in smokers during a Go/NoGo task: an investigation using event-related brain potentials. *PLoS ONE*, 2011, 6: e18898
- 51 McBride D, Barrett S P, Kelly J T, et al. Effects of expectancy and abstinence on the neural response to smoking cues in cigarette smokers: an fMRI study. *Neuropsychopharmacology*, 2006, 31: 2728–2738
- 52 Spinella M. Correlations between orbitofrontal dysfunction and tobacco smoking. *Addict Biol*, 2002, 7: 381–384
- 53 Xu J, Azizian A, Monterosso J, et al. Gender effects on mood and cigarette craving during early abstinence and resumption of smoking. *Nicotine Tobacco Res*, 2008, 10: 1653–1661
- 54 Buzzell G A, Fedota J R, Roberts D M, et al. The N2 ERP component as an index of impaired cognitive control in smokers. *Neurosci Lett*, 2014, 563: 61–65
- 55 Impey D, Chique-Alfonzo M, Shah D, et al. Effects of nicotine on visuospatial attentional orienting in non-smokers. *Pharmacol Biochem Behav*, 2013, 106: 1–7
- 56 Xin Z, Ting L X, Yi Z X, et al. Response inhibition of cigarette-related cues in male light smokers: behavioral evidence using a two-choice oddball paradigm. *Front Psychol*, 2015, 6: 1506
- 57 赵鑫, 刘晓婷, 咎香怡, 等. 吸烟对反应抑制的影响: 证据、原因和争论. *心理科学进展*, 2015, 23: 1031–1040
- 58 Jentsch J D, Taylor J R. Impulsivity resulting from frontostriatal dysfunction in drug abuse: implications for the control of behavior by reward-related stimuli. *Psychopharmacology*, 1999, 146: 373–390
- 59 Bardo M T, Milich R, Fishbein D H. Future directions for research on inhibitory control and drug abuse prevention. In: *Inhibitory Control & Drug Abuse Prevention*. New York: Springer, 2011. 317–329
- 60 宋东峰, 傅文青, 孔明, 等. 情绪加工对边缘型人格障碍行为抑制控制功能的影响. *心理科学*, 2009, (6): 1427–1429
- 61 Vohs K D, Heatherton T F. Self-regulatory failure: a resource-depletion approach. *Psychol Sci*, 2000, 11: 249–254

The application of the two-choice oddball paradigm to the research of behavioral inhibitory control

YUAN JiaJin¹, XU MengMeng¹, YANG JieMin¹ & LI Hong²

1 The Laboratory for Affect Cognition and Regulation (ACRLab), Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2 The Research Center for Brain Function and Psychological Science, School of Psychology and Sociology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

Behavioral inhibitory control (BIC) refers to one's inhibitory control of impulsive, context-inappropriate behavioral patterns, which is of vital importance to humans' adaptation to the changing environment. Go/Nogo paradigm and Stop Signal paradigm are the two widely used paradigms for the studies of behavioral inhibitory control and its cognitive neuroscience underpinnings. In a typical Go/Nogo task, the presentation of go stimulus requires a motor response, which however should be suppressed during Nogo stimulus presentation. As a result, behavioral indicators of BIC and its inter- or intra-individual differences, in most cases, depend solely on the accuracy difference between Go and Nogo conditions, which is sometimes insensitive to inhibitory processing. Also, it is difficult to control the obscuring effects of motor preparation/execution on the interpretation of BIC-related neural activities by a simple Go-Nogo comparison. On the other hand, the stop signal paradigm uses a staircase method to vary the stop-signal delay from the go signal to the stop-signal, to manipulate participants' successful stop and erroneous response at around 50% of the trials, respectively. This method is used to compute stop-signal reaction time (SSRT), an index considered to reflect one's behavioral inhibitory function. However, this method sacrifices the analysis and the interpretation of accuracy data and, again, the stop-signal paradigm meets difficulty in controlling the contaminations of a preceding go stimulus processing on the neural processing of the subsequent stop signal. Based on these considerations, we introduced a novel two-choice oddball paradigm for overcoming the limitations of the above paradigms, and for the acquisition of more comprehensive and sensitive behavioral markers of BIC. Using reaction time cost (RT Cost) and accuracy cost as behavioral indexes, relevant empirical studies have shown that the new paradigm can be validly used for the psychological and cognitive neuroscience studies of BIC in the following three domains: (i) to detect inter-individual differences in BIC (e.g. sex differences) by both behavioral and neurophysiological markers; (ii) to detect intra-individual differences in BIC as a function of internal state changes (e.g. emotion); (iii) to assess the impairment and the functional plasticity of impulse inhibition in drug addiction (e.g. nicotine addiction). These evidences suggest that the two-choice oddball paradigm can be widely used to assess behavioral inhibitory function and its variability, in the broad area of psychology and cognitive neuroscience research.

behavioral inhibitory control, two-choice Oddball paradigm, RT cost, Go/Nogo paradigm, Stop Signal paradigm

doi: [10.1360/N052017-00125](https://doi.org/10.1360/N052017-00125)