

手动与眼动反应抑制的认知神经机制*

宣 宾** 彭苏浩

(安徽师范大学心理学系, 芜湖 241000)

摘要 手动与眼动反应抑制是指抑制与当前环境不相适应的优势手动或眼动反应。与经典的 Go/Nogo 任务、停止信号任务测量的抑制水平相比, 眼动抑制任务可提供更为丰富的指标, 并分离出语言及手部运动反应的污染。手动与眼动反应抑制在不同神经精神疾病以及个体发展的不同阶段表现均有不同。额叶-基底神经节网络在手动和眼动抑制中发挥类似的作用, 但额下回是手动抑制的关键脑区, 额叶眼区和上丘则与眼动抑制关系更密切。目前, 主要的争议集中在两者的神经机制、两者涉及的高级认知加工以及在神经心理学和发展心理学中的不同行为表现和发展趋势。

关键词 反应抑制, 停止信号任务, 反向眼跳, 额叶-基底神经节模型

学科分类号 B845

DOI: 10.16476/j.pibb.2014.0214

抑制控制(inhibitory control)是指个体追求某个认知表征目标时, 抑制对无关刺激反应的一种能力。这种能力与适应环境、维持生存密切相关, 是人类极其重要的认知功能之一。根据抑制的对象可将其分为行为抑制与认知抑制, 分别用于抑制与当前环境不相适应的行为与思维^[1]。但无论是对行为的抑制还是对思维的抑制, 最终可能都需要在晚期加工阶段, 通过抑制不适宜的优势反应来达成目标。手和眼是个体日常生活中行为反应的直接效应器, 手动和眼动是个体内部心理活动的外显表现, 也是其他抑制行为的基础。手动和眼动抑制在理解个体的认知发展及老化特征上有重要作用, 对检测临床上如注意缺陷多动障碍(ADHD)、强迫症(OCD)、精神分裂症、阿尔兹海默症(AD)以及额叶损伤等多种神经和精神系统疾病的认知功能改变也起着至关重要的作用。因此对手动和眼动反应的抑制成为该领域研究的重点和突破口, 其认知加工模型与神经网络模式的研究引起了国内外学者的广泛兴趣。

1 手动和眼动抑制的常用范式及其认知加工机制

1.1 手动和眼动抑制的研究范式分析

经典的手动抑制研究范式包括 Go/Nogo 任务

和停止信号任务(Stop-signal task)^[1]。任务中通常给予两类刺激: 高频刺激要求被试手动按键反应, 低频刺激或低频停止信号要求被试不作反应。两种任务既涉及相同的认知操作成分, 也有不同之处^[2]。Go/Nogo 任务中, 对低频刺激的反应是不合情境要求的行为; 而在 Stop-signal 任务中, 一旦停止信号出现, 高频刺激则成为不符合情境要求的行为。从这个意义上来看, 两种任务都是测量反应抑制的优良工具。其不同在于 Go/Nogo 任务中高频刺激的频繁出现, 使个体对刺激的行为反应成为习惯化过程, 低频刺激出现时需要抑制, 因此个体抑制的是优势的行为反应; 而在停止信号任务中, 由于 Stop 信号的出现时间上滞后于 Go 信号, 所以个体抑制的是已经被启动的行为或是正在进行的行为^[3]。在上述两个经典范式的基础上, 研究者还尝试在一定程度上修改实验范式以探讨更为纯粹的反应抑制功能。例如, 双选择 oddball 范式要求被试对高频刺激和低频刺激分别做反应, 由于高频刺激更容易让被试形成某种优势反应, 因此通过该范式也可以

* 国家自然科学基金资助项目(31171076)。

** 通讯联系人。

Tel: 0553-3937007, E-mail: xuanbin@mail.ahnu.edu.cn

收稿日期: 2014-12-07, 接受日期: 2015-03-04

观察到被试的反应抑制^[4]。

抑制手部反应是最为常见的一种检测反应抑制功能的方法。除此之外,眼动抑制也可探究个体的反应抑制能力。反向眼跳任务(anti-saccade task)最初由 Hallett^[5]提出,完成任务至少包含两个成分:抑制朝向目标的反射性眼跳和对刺激的相反方向进行眼跳反应。当刺激出现时会引起朝向性质的反射性眼跳,而任务同时要求反向眼跳,两种眼跳处于竞争状态,因此正确的眼跳取决于朝向眼跳和反向眼跳在加工中的速度和强度。该范式已被研究者大量应用于抑制控制和视觉注意等领域的相关研究。

结合手动的行为抑制范式,有研究者在眼动抑制研究中,采用类似手动停止信号任务的眼跳停止任务(visual stopping task)。当一个 Go 刺激出现的时候,要求被试眼睛转向该刺激位置,一旦出现停止信号(一般是声音刺激),要求被试眼睛立即停止转向 Go 刺激。该范式除了反应方式不同,其他要

求都与停止信号任务类似。如图 1 所示,类似的变式还有延迟眼跳任务(delayed ocular response task)、延迟反向眼跳任务(delayed anti-saccade task)和任务转换眼跳任务(task switch saccade task)等范式均可考察眼动抑制功能^[6-8]。

与传统的手动反应抑制实验所提供的指标相比,眼动研究可以提供更为丰富的指标来测量个体的抑制水平。如眼跳方向错误率测量任务要求的眼跳方向的正确性,一般认为可代表抑制水平;眼跳潜伏期测量从刺激呈现到正确眼跳发动的时间间隔,类比与 Go 任务中的按键反应时;其他指标还包括精确性、峰速度、平均速度、校正率等,通过这些指标可以有效地分离反应抑制因素、工作记忆因素和加工速度因素等^[7]。抑制眼动任务被认为具有直接测试被试抑制非必要或不恰当行为反应的能力,在一定程度上避免了语言表达或运动功能对反应抑制能力的污染。

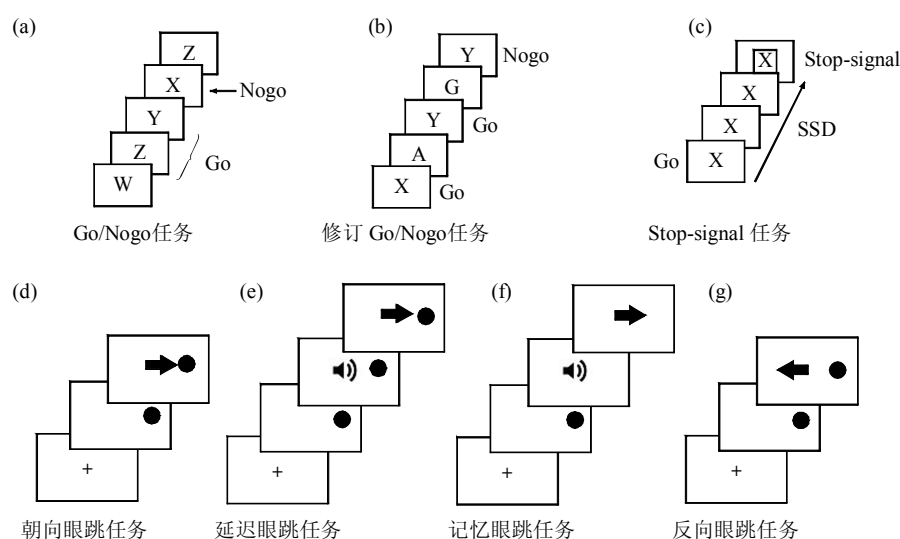


Fig. 1 Research paradigm and its variation (adapted from Chambers C D, Garavan H & Bellgrove M A, 2009^[9])

图 1 手动抑制和眼动抑制常用研究范式及变式(部分改编自 Chambers C D, Garavan H & Bellgrove M A, 2009^[9])

1.2 手动和眼动反应抑制的认知加工机制比较

手动和眼动抑制都被认为反映了个体的反应抑制能力。从认知加工机制上来说,赛马模型(horse-race model)认为反应抑制成功与否取决于反应和抑制谁先达到反应阈限,但是后期研究者们对传统的赛马模型进行了修正,认为当出现冲突行为时,通过对所有反应的暂时性抑制,从而使得行为反应在这种模型下能够进行整体动态调整^[10]。

许多研究者认为,反应抑制并不是单一的认知

加工过程,而是若干独立的认知过程的集合,不同类型反应抑制的神经机制也存在较大差异^[11]。手动和眼动抑制分别经由不同的通路进行,两者反应的激活时间不同,并且受到了任务操作差异的影响^[12]。目前,对反应抑制的研究多分别通过手动或者眼动方式考察其抑制控制功能,尚无在一项研究中同时比较手动和眼动反应抑制能力差异的报道。从行为学的证据分析,在目标导向活动中眼动和手动的动作系统是相互关联的,比如我们用手做出某个动

作, 眼睛可以迅速并准确地锁定该动作, 但是如果眼睛注视某个目标时, 手却不一定能准确锁定该目标^[13]. 从对研究范式及其认知加工过程的分析来看, 手动抑制与反向眼跳有相同之处, 两者都需要付出一定的努力来抑制优势反应, 但两者也有所不同^[12, 14]. 反向眼跳包含两种眼跳机制: 一种是抑制朝向目标的反射性眼跳, 另一种是对镜像位置作出眼跳反应; 而手动抑制中只需要抑制对目标的反应, 不需要做出类似镜像位置眼跳的反应. 此外, 与手动抑制相比, 眼动抑制过程与注意分配关系更为密切, 眼跳开始之前注意已经转移到目标上, 注意控制和眼动行为的神经基础被认为存在重叠, 眼跳和注意发生时, 顶叶、V4、额眼区(FEF)、附属眼区(SEF)等这些共同的脑区被激活^[15]. 而手动反应抑制与注意的神经基础则表现为较高分离, 似乎与执行功能的关系更为密切^[16].

2 手动和眼动抑制的神经机制

2.1 神经心理学研究

对脑损伤病人的手动反应抑制研究表明, 腹侧前额皮层中的额下回, 特别是右侧额下回是抑制成功与否的关键脑区. Aron 等^[17]发现, 相对于健康人群或者左侧额叶损伤的病人, 右侧额下回受损病人在 Stop-signal 任务中的停止信号反应时间表现出明显的反应延迟. 除额下回外, 基底神经节对手动反应抑制能力的影响也非常大. 基底神经节病变后切除的患者在反应抑制过程中出现了与前额叶受损的病人类似的反应抑制困难现象. 但是也有研究者认为反应抑制的关键脑区在内侧前额叶皮质(medial prefrontal cortex, MPFC), 通过切除扣带回和额叶辅助运动区, 发现个体在 Go/Nogo 任务中表现出更高的错误率. 除了手动反应抑制的研究外, 额叶损伤病人还表现出眼动反应抑制障碍. 额叶损伤的病人与正常对照的正向眼跳和反向眼跳表现相比, Guitton 等^[18]发现额叶损伤病人在正向眼跳中与其他两组被试无差别, 但其反向眼跳成绩较差, 表现出更高的错误率和更长的反应时.

Barkley 等认为抑制缺陷是注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity, ADHD)的核心症状, 其典型特征注意缺陷、多动和冲动行为, 提示患者在抑制非必要或不恰当行为反应的能力减弱^[19]. 这与大脑额叶和基底神经节的结构或功能异常所导致的症状相类似, 这两个脑区被证实存在随意反应的产生和反射性反应的抑制上具有重要作用, 因此有学

者提出 ADHD 患者存在额叶 - 纹状体功能紊乱的神经生理假设^[20-21]. 大部分研究提示 ADHD 患者的手动反应抑制能力存在障碍^[22]. 在 Go/Nogo 任务中, ADHD 被试在 Go 任务中的反应时长于正常被试, 且反应不稳定, 变异性较大, 在 Nogo 任务中的错误率高于正常组, 提示 ADHD 患者的反应执行能力差, 反应抑制能力存在缺损. 对眼动反应抑制能力的研究则也得出了类似的结论^[23]. ADHD 患者在维持视觉注视及随意眼跳控制上存在困难, 在有目的的眼动行为中难以抑制反射性反应. 通过反向眼跳任务研究 ADHD 儿童的反应抑制能力, 多数研究者发现患儿的错误眼跳多于正常儿童, 表现为较长的眼跳潜伏期和较多的预期性眼跳, 提示其眼跳反应抑制困难.

物质成瘾和行为成瘾在渴求等症状上具有类似的特点, 抑制控制功能障碍被认为是两者的关键所在. 对手动反应抑制的研究发现, 长期暴露在成瘾物质下的个体出现抑制能力的损伤, 如可卡因成瘾者对 Stop 信号需要更长时间抑制反应, 成功抑制比例更低, 而对网络成瘾者来说, 研究发现个体的成瘾程度越深, 反应速度越快, 错误率也越高^[24]. 网络成瘾组由 Nogo 刺激诱发的 N2 波幅较小, P3 潜伏期较长, 提示其需要更多的努力去抑制习惯性反应冲动. 物质与行为成瘾者的脑结构、在反应抑制任务中的脑功能也发生了明显的改变. 长期海洛因成瘾者的前额叶和颞叶皮层的体积减小^[25], 而网络成瘾者也被发现额叶与扣带回等部位的结构性萎缩. 功能成像研究提示成瘾者的背外侧前额叶(DLPFC)、前扣带回(ACC)、前额脑区底部(OFC)、右下额叶皮质(rIFC)在抑制控制任务中的活性降低^[26-27]. 认知发展的相关研究则为眼动反应抑制的神经机制提供了很多证据. 众所周知, 相对于其他脑区, 额区最晚成熟且最早衰退, 额叶的发育及老化状况与反向眼跳能力紧密相关, 儿童期被试的眼跳错误率最高, 随着年龄增加, 其抑制能力不断完善, 青年被试的眼跳错误率最低, 而伴随老化而来的认知能力下降则与老年被试对无关信息的抑制效率低下直接相关, 当需要抑制优势反应时, 老年被试的正确眼跳反应时比年轻人长, 眼跳错误率也显著多于年轻被试^[28].

2.2 神经影像学 and 脑刺激研究

神经影像学技术的广泛应用, 使研究者能够对反应抑制的神经机制进行探索, 并提出了几个与之紧密相关的关键脑区, 如背外侧前额叶、额下回、

前扣带回、辅助运动区、辅助运动前区以及皮层下的基底神经节等^[1, 29], 这与神经心理学的研究基本一致, 并且上述脑区在不同类型的反应抑制任务中都表现出相应的激活. 例如, Leung 等^[30]的 fMRI 研究显示, 额下回(IFG)是反应抑制的关键结构. 无论在手动还是眼动反应抑制任务中, 右侧额下回(rIFG)都表现出明显的激活, 其激活与 Nogo 刺激引起对优势反应的抑制有关. 但也有研究者指出, IFG 的激活可能只是源于 Go 与 Nogo 刺激的难度或频率差异^[31]. 在 Go/Nogo 任务中, Nogo 刺激导致背外侧前额皮层和腹侧前额叶皮层的激活程度更高, Go 刺激导致初级运动区、辅助运动区、运动前区以及小脑的激活程度更高, 无论抑制成功或者失败, Go 和 Nogo 刺激都激活前扣带回和腹侧前额叶^[32]. 此外, 反应抑制还包括皮层下的部分脑区如基底神经节. Zandbelt 等^[33-34]发现, 纹状体在有关运动反应停止的神经网络中起关键作用, 纹状体的激活不仅与运动皮质的激活有关, 而且还与停止信号预期反应有关, 提示纹状体和双侧躯体感觉运动区(SMC)、rIFG 一样参与运动皮质的抑制控制. 丘脑底核(STN)在反应抑制中的作用也非常关键, STN 在 Nogo 刺激下的激活明显强于 Go 刺激, 在行为上表现出更强的抑制能力的个体, 其 STN 的激活也往往更强^[35-36].

在眼动反应抑制任务如反向眼跳范式中, 个体需要克制对目标刺激的注视, 并注视相反方向. 完成眼跳反应抑制任务必须先抑制反射性眼跳. 额叶, 特别是前额叶在执行眼动反应抑制中具有关键性的控制作用. 前额叶皮层(PFC)在执行反向眼跳任务时, 通过皮层和皮层下神经元的活动进行自上而下的控制眼跳反应^[18, 37]. 最近的脑功能成像和定位刺激研究发现, 眼动反应抑制不仅仅受 PFC 控制, 影响自发性朝向眼跳和反向眼跳的两个关键性区域分别是额叶眼区和辅助眼动区. 在眼跳任务中, 双侧额叶眼区、辅助眼动区、下丘脑穹隆周核(PEF)、左侧晶状体核(left lenticular nucleus)和双侧枕叶(bilateral occipital cortices)等脑区都被激活, 而在反向眼跳任务中除上述脑区外, 双侧背外侧前额叶皮层、双侧顶下小叶、前扣带回和视丘也被激活^[15].

神经影像学研究虽然能够证明大脑特定区域与反应抑制有关, 但是无法探明特定脑区在该任务中的必须和特定的作用, 而且对抑制障碍病人的神经影像学研究也无法避免神经可塑性以及神经元重组

的影响. 相对而言, 经颅磁刺激(TMS)和直流电刺激(tDCS)通过对脑主动的施加磁或电刺激, 则能够检验出某个脑区在反应抑制过程中是否起了必需的作用. 在神经心理学与脑功能成像研究的基础上, 研究者采用 TMS 和 tDCS 技术, 在前额叶、额叶眼区、前辅助运动区、右侧额下回等脑区对反应抑制进行了相关的研究. Chambers 等^[38]最早采用 TMS 技术研究手动反应抑制, 在被试执行 Stop-signal 任务的同时, 用 TMS 刺激被试的右侧额下回、额中回(MFG)和角回(AG)等区域, 结果显示对 rIFG 的刺激影响反应抑制的任务成绩, 而对 MFG、AG 等脑区的刺激并未明显改变被试的成绩. 而 IFG 在眼动反应抑制中也存在类似的作用. IFG 损伤的患者在反向眼跳任务中的成绩变差, 与手动反应抑制类似, rIFG 损伤病人的成绩下降更为明显^[39].

TMS 研究的主要方法是中断认知过程, 但是 TMS 对神经元的作用可能是兴奋性的, 也可能是抑制性的, 因此需要利用增加或者降低兴奋的刺激来明确参与反应抑制的脑区在抑制过程中所起的作用. tDCS 可以通过对研究者感兴趣脑区的细胞膜进行去极化和超极化, 从而达到对皮层兴奋性的促进或者抑制^[40]. 在 Go/Nogo 任务中, Beeli 等^[41]用 tDCS 刺激右背外侧前额叶皮层, 他们发现, 通过 TDCS 给予抑制性刺激, 个体在 Go/Nogo 任务中对 Nogo 刺激的反应次数明显上升, 表明该区域在抑制控制中的作用可能是提高冲动性或降低抑制性. Hsu 等^[42]发现, tDCS 刺激右侧背外侧前额叶能够调节被试反应抑制任务中的反应概率, 增加兴奋性会降低反应概率, 停止信号出现后被试反应减少; 降低兴奋性会提高反应概率, 停止信号出现时反应概率增加, 导致错误增加. Wegener 等^[43]则对 DLPFC 在眼动反应抑制中的作用产生了兴趣, 他们对猴子的 DLPFC 区域进行轻微电刺激, 发现猴子在朝向眼跳和反向眼跳任务中都出现了明显的眼跳反应时延长现象, 而且在反向眼跳任务中的错误率明显提高, 说明 DLPFC 在眼动反应及抑制中有着重要作用.

3 手动和眼动抑制的神经网络模式的比较

在手动反应抑制任务中, 额叶与基底神经节是负责反应抑制的核心区域. 大量研究发现, IFG 是抑制手动优势反应的关键脑区, IFG 和 SMA/preSMA 通过直接的白质连接, 并通过基底神经节

的下丘脑核协调反应抑制^[44]。基底神经节主要通过直接通路和间接通路调节运动功能, 直接通路对运动起易化作用, 间接通路抑制运动的产生。研究者结合神经影像学、神经心理学以及生理心理学的证据, 提出了反应抑制的额叶-基底神经节模型^[45], 该模型将额叶皮质、丘脑核以及基底神经节所有的信息传递全部合并在了超直接通路中, 认为超直接通路和间接通路可能共同负责对优势反应的抑制。当反应和抑制产生了冲突时, 该通路通过对所有反应的暂时性抑制, 使得信息加工在这种模型下能够进行整体动态调整, 最后做出决定是反应还是抑制。

在眼动反应抑制任务中, 额叶眼动区与上丘是其关键脑区。完成眼动反应抑制依赖于自发眼跳和自主控制眼跳相竞争的结果, 与自发眼跳相关的皮层下的通道连接上丘(SC), 与自主控制眼跳有关的皮层上的通道连接 FEF, 两条通道在皮层下的眼动控制部位相会。在竞争中, 这两条通道被同时激活, 速度快的一方首先被执行从而产生相应的眼跳。也有研究者认为自发眼跳和自主控制眼跳在上丘处展开竞争, 强势的一方控制眼动。眼动反应抑制可能涉及到两个重要的神经网络回路^[46]。a. 额顶叶环路(fronto-parietal circuit)。眼跳目标的空间表征是在额叶和顶叶等区域的神经环路中平行进行的, 是否正确眼跳取决于朝向眼跳和反向眼跳的相对激活程度。b. 额叶-纹状体-视丘-皮层回路(fronto-striato-thalamo-cortical circuits)。有研究者认为反向眼跳过程包括三个系统: 眼跳注视系统, 根据任务要求对干扰进行抑制, 该脑区主要位于上丘(superior colliculus, SC); 眼跳准备系统, 该系统一方面计划准备发生眼跳, 另一方面抑制不正确的眼跳, 该脑区主要在眶额叶; 选择性抑制系统, 负责的区域有背外侧前额叶皮层和基底神经节环路^[46]。

如图 2 所示, 眼动抑制与手动抑制既涉及相同的神经网络, 如 PFC 是反应抑制的关键脑区^[47]、STN 和 SNr 在抑制过程中发挥着重要作用等, 但是眼动抑制也有其特殊的神经机制。Sato 等^[48]的研究发现, 位于前额叶的 FEF 中存在两类神经, 一类神经主要对特异刺激进行优先反应, 另一类神经主要对眼跳位置进行控制。自发性朝向眼跳和自主控制的反向眼跳之间产生冲突, 需要通过 DLPFC 和 SEF 对眼跳神经元的抑制来实现对朝向眼跳的抑制, 通过 FEF 和 SC 中的眼跳神经元的抑制来实现对反向眼跳的促进。此外, 常见的手动抑制任务

如 Go/Nogo 任务和 Stop-signal 任务等, 目标刺激的位置都是固定的, 个体对目标刺激的反应属于自上而下的认知控制加工, 以前额叶作为核心载体, 通过前额叶对皮层下和后部皮层区域的调动、协调和统领实现的。而眼动抑制任务中, 刺激出现的位置是不明确的, 当刺激出现时, 需要个体捕获注意, 眼跳系统直接根据视觉刺激进行反应, 上丘在视觉搜索过程中发挥着重要作用。

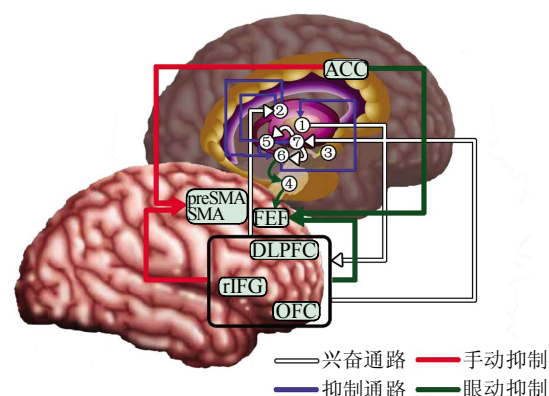


Fig. 2 The neural network of response inhibition in hand and eye movements

图 2 手动与眼动反应抑制的神经网络

①: 丘脑; ②: 纹状体; ③: 下丘脑; ④: 上丘; ⑤: 外侧苍白球; ⑥: 内侧苍白球/黑质网状部; ⑦: 丘脑底核。

4 手动和眼动抑制研究的相关争论及未来研究趋势

手动与眼动反应抑制在抑制控制领域中是最为常见的两种反应抑制类型。两者在研究的行为范式上来看, 眼动抑制似乎可以提供更为丰富的指标来判断个体的抑制控制水平, 且一定程度上可排除无关变量的一些干扰。手动与眼动反应抑制在不同神经精神疾病以及个体发展的不同阶段的不同表现, 可能与其神经机制和网络模式有关。除了额叶-基底神经节网络在两种抑制中的类似作用, 后期的反应通路以及高级通路之间的交互可能存在差异。

相对于其他的行为反应抑制, 眼动抑制成为一个相对独立的研究领域。对两者机制的分析中, 除了最后的反应通路, 其余是否完全相同, 仍然是一个悬而未决的问题。一种观点认为不同类型的抑制控制, 其机制是可分离的。来自身体不同部位产生的抑制行为有着不同的神经环路, 行为学的证据表明抑制一个手动反应、抑制一个眼动反应以及抑制

一个发音反应所需要的时间是不同的^[49-50]。但是最近关于 fMRI 研究探讨身体不同部位在执行反应撤销任务(countermanding task)中是否涉及相同的抑制控制机制,比较眼动与手动反应、手动与发音反应、手动与脚动反应,结果发现前辅助运动区(pre-SMA)和右侧额下回均出现了激活信号。因此认为导致手动和眼动反应抑制的神经机制有共同的脑区,也可能有分离的脑区^[51]。但是目前还没有直接的生理证据去探索两个部位间反应抑制差异发生的认知神经机制。

手动与眼动抑制中另一个值得探索的问题是,在个体发展的进程中,抑制控制能力是伴随年龄改变而发生变化的,但手动抑制和眼动抑制的发展是否同步尚未有明确的结论。如果从反应抑制的行为表现这个角度来分析,眼动抑制的发展似乎比起其他反应抑制发展得更早。处于不能用手动或其他方式作出合适反应,并且在 A 非 B 任务中失败阶段的婴儿,却能用眼睛盯着正确的藏匿点,抑制先前占优势的藏匿位置,但是这种眼动抑制能力的表现也许仅仅是因为反射性的眼动。有研究提示儿童的反应抑制能力在 4~6 岁出现反应冲刺阶段,但目前尚未有研究比较同时期的儿童不同的反应抑制能力。从个体发展的另一个端点来分析,老年被试伴随着老化在各种认知任务中出现成绩下降,对此的一个重要的解释是老年人相对青年人更难以抑制占优势的行为反应。但对尚无研究比较老年人抑制一个手动反应和抑制一个眼动反应的能力是否同步或表现出与发展早期类似的趋势。此外,对于 ADHD、学习障碍、自闭症、精神分裂症、抑郁症、情感障碍、帕金森氏症、老年痴呆、唐氏综合症、亨廷顿舞蹈症以及额叶损伤等患者的抑制控制研究,也发现两者在是否损伤以及损伤程度上有一定的区别。

具体的手动和眼动抑制任务还涉及到该反应抑制是整体性还是选择性,主动性还是被动性抑制,这些差异是否涉及到不同的神经机制还存有疑问。当执行抑制任务中需要停止的反应无法预测时,如在停止信号任务中,大脑就需要一个整体性抑制机制进行快速反应;当需要停止的反应可以被预测到并做好准备时,比如在反向眼动任务中,脑更可能产生一个选择性抑制机制。一般认为整体性反应抑制受 rIFG 监控机制影响,同时 rIFG 的影响直接表现在 STN 的反应抑制上^[52-53]。而对优势反应的选择性抑制是从 DLPFC 开始的,通过间接的皮质网络

停止反应通道完成^[33,54]。积极主动性抑制与消极被动性抑制也被认为存在很大区别。大多数的反应抑制实验都要求被试积极主动地抑制反应,这种条件下的实验会增加前额运动皮质与纹状体的联系,从而在速度-准确权衡中由于速度的变化导致决策阈限的降低。在抑制控制任务中虽然所有的认知机制成分都可能会导致反应决策阈限值的变化,但是可能只有那些积极参与抑制过程的部分会改变自身的抑制控制能力。与手动反应抑制相比,眼动抑制需要被试更加积极主动的抑制干扰,并转向目标位置。如果积极抑制的作用得到实验证实,可能会为抑制控制缺陷者如成瘾者、肥胖者以及强迫症病人的治疗提供新的治疗方法,通过积极抑制的方法促进他们的抑制控制能力。

参 考 文 献

- [1] Bari A, Robbins T W. Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology*, 2013, **108**: 44-79.
- [2] Nigg J T. On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 2000, **126**(2): 220-246
- [3] Dillon D G, Pizzagalli D A. Inhibition of action, thought, and emotion: a selective neurobiological review. *Applied & Preventive Psychology: Journal of the American Association of Applied and Preventive Psychology*, 2007, **12**(3): 99-114
- [4] 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**(6): 986-993
- [5] Hallett P E. Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 1978, **18**(10): 1279-1296
- [6] Cabel D W, Armstrong I T, Reingold E, *et al.* Control of saccade initiation in a countermanding task using visual and auditory stop signals. *Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale*, 2000, **133**(4): 431-441
- [7] Reuter B, Kathmann N. Using saccade tasks as a tool to analyze executive dysfunctions in schizophrenia. *Acta Psychologica*, 2004, **115**(2-3): 255-269
- [8] Manoach D S, Lindgren K A, Cherkasova M V, *et al.* Schizophrenic subjects show deficient inhibition but intact task switching on saccadic tasks. *Biological Psychiatry*, 2002, **51**(10): 816-826
- [9] Chambers C D, Garavan H, Bellgrove M A. Insights into the neural basis of response inhibition from cognitive and clinical neuroscience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2009, **33**(5): 631-646
- [10] Boucher L, Palmeri T J, Logan G D, *et al.* Inhibitory control in mind and brain: an interactive race model of countermanding saccades. *Psychol Rev*, 2007, **114**(2): 376-397
- [11] Dempster F N, Corkill A J. Interference and inhibition in cognition psychology and behavior: unifying themes for educational

- psychology. Educational Psychology Review, 1999, **11**(1): 1-88
- [12] Logan G D, Irwin D E. Don't look! Don't touch! Inhibitory control of eye and hand movements. Psychonomic Bulletin & Review, 2000, **7**(1): 107-112
- [13] Abrams R A, Meyer D E, Kornblum S. Eye-hand coordination: oculomotor control in rapid aimed limb movements. Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance, 1990, **16**(2): 248-267
- [14] Aron A R, Robbins T W, Poldrack R A. Inhibition and the right inferior frontal cortex. Trends in Cognitive Sciences, 2004, **8**(4): 170-177
- [15] Matsuda T, Matsuura M, Ohkubo T, *et al.* Functional MRI mapping of brain activation during visually guided saccades and antisaccades: cortical and subcortical networks. Psychiatry Research, 2004, **131**(2): 147-155
- [16] Dodds C M, Morein-Zamir S, Robbins T W. Dissociating inhibition, attention, and response control in the frontoparietal network using functional magnetic resonance imaging. Cereb Cortex, 2011, **21**(5): 1155-1165
- [17] Aron A R, Fletcher P C, Bullmore E T, *et al.* Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. Nature Neuroscience, 2003, **6**(2): 115-116
- [18] Guitton D, Bachtel H A, Douglas R M. Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades. Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale, 1985, **58**(3): 455-472
- [19] Senderecka M, Grabowska A, Szewczyk J, *et al.* Response inhibition of children with ADHD in the stop-signal task: an event-related potential study. International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 2012, **85**(1): 93-105
- [20] Barkley R A. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. Psychological Bulletin, 1997, **121**(1): 65-94
- [21] Cummins T D, Hawi Z, Hocking J, *et al.* Dopamine transporter genotype predicts behavioural and neural measures of response inhibition. Molecular Psychiatry, 2012, **17**(11): 1086-1092
- [22] Xiao T, Xiao Z, Ke X, *et al.* Response inhibition impairment in high functioning autism and attention deficit hyperactivity disorder: evidence from near-infrared spectroscopy data. PloS one, 2012, **7**(10): e46569
- [23] Munoz D P, Armstrong I T, Hampton K A, *et al.* Altered control of visual fixation and saccadic eye movements in attention-deficit hyperactivity disorder. Journal of Neurophysiology, 2003, **90**(1): 503-514
- [24] Colzato L S, van den Wildenberg W P, Zmigrod S, *et al.* Action video gaming and cognitive control: playing first person shooter games is associated with improvement in working memory but not action inhibition. Psychological Research, 2013, **77**(2): 234-239
- [25] Lyoo I K, Pollack M H, Silveri M M, *et al.* Prefrontal and temporal gray matter density decreases in opiate dependence. Psychopharmacology, 2006, **184**(2): 139-144
- [26] Lee T M, Zhou W H, Luo X J, *et al.* Neural activity associated with cognitive regulation in heroin users: A fMRI study. Neuroscience Letters, 2005, **382**(3): 211-216
- [27] Fu L P, Bi G H, Zou Z T, *et al.* Impaired response inhibition function in abstinent heroin dependents: an fMRI study. Neuroscience Letters, 2008, **438**(3): 322-326
- [28] Butler K M, Zacks R T. Age deficits in the control of prepotent responses: evidence for an inhibitory decline. Psychology and Aging, 2006, **21**(3): 638-643
- [29] Albert J, Lopez-Martin S, Tapia M, *et al.* The role of the anterior cingulate cortex in emotional response inhibition. Human Brain Mapping, 2012, **33**(9): 2147-2160
- [30] Leung H C, Cai W. Common and differential ventrolateral prefrontal activity during inhibition of hand and eye movements. The Journal of Neuroscience: the official Journal of the Society for Neuroscience, 2007, **27**(37): 9893-9900
- [31] Simmonds D J, Pekar J J, Mostofsky S H. Meta-analysis of Go/No-go tasks demonstrating that fMRI activation associated with response inhibition is task-dependent. Neuropsychologia, 2008, **46**(1): 224-232
- [32] Kaufman J N, Ross T J, Stein E A, *et al.* Cingulate hypoactivity in cocaine users during a GO-NOGO task as revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience, 2003, **23**(21): 7839-7843
- [33] Zandbelt B B, Vink M. On the role of the striatum in response inhibition. PloS one, 2010, **5**(11): e13848
- [34] Zandbelt B B, Bloemendaal M, Hoogendam J M, *et al.* Transcranial magnetic stimulation and functional MRI reveal cortical and subcortical interactions during stop-signal response inhibition. Journal of Cognitive Neuroscience, 2013, **25**(2): 157-174
- [35] Aron A R, Poldrack R A. Cortical and subcortical contributions to Stop signal response inhibition: role of the subthalamic nucleus. The Journal of Neuroscience : the Official Journal of the Society for Neuroscience, 2006, **26**(9): 2424-2433
- [36] Ray N J, Brittain J S, Holland P, *et al.* The role of the subthalamic nucleus in response inhibition: evidence from local field potential recordings in the human subthalamic nucleus. NeuroImage, 2012, **60**(1): 271-278
- [37] Sweeney J A, Rosano C, Berman R A, *et al.* Inhibitory control of attention declines more than working memory during normal aging. Neurobiology of Aging, 2001, **22**(1): 39-47
- [38] Chambers C D, Bellgrove M A, Gould I C, *et al.* Dissociable mechanisms of cognitive control in prefrontal and premotor cortex. Journal of Neurophysiology, 2007, **98**(6): 3638-3647
- [39] Hodgson T, Chamberlain M, Parris B, *et al.* The role of the ventrolateral frontal cortex in inhibitory oculomotor control. Brain: a Journal of Neurology, 2007, **130**(Pt 6): 1525-1537
- [40] Juan C H, Muggleton N G. Brain stimulation and inhibitory control. Brain Stimulation, 2012, **5**(2): 63-69
- [41] Beeli G, Casutt G, Baumgartner T, *et al.* Modulating presence and impulsiveness by external stimulation of the brain. Behavioral and

- Brain Functions, 2008, **4**(4): 33–37
- [42] Hsu T Y, Tseng L Y, Yu J X, *et al.* Modulating inhibitory control with direct current stimulation of the superior medial frontal cortex. *NeuroImage*, 2011, **56**(4): 2249–2257
- [43] Wegener S P, Johnston K, Everling S. Microstimulation of monkey dorsolateral prefrontal cortex impairs antisaccade performance. *Experimental Brain Research Experimentelle Hirnforschung Experimentation Cerebrale*, 2008, **190**(4): 463–473
- [44] Cai W, Leung H C. Rule-guided executive control of response inhibition: functional topography of the inferior frontal cortex. *PLoS one*, 2011, **6**(6): e20840
- [45] Bersani G, Quartini A, Ratti F, *et al.* Olfactory identification deficits and associated response inhibition in obsessive-compulsive disorder: On the scent of the orbitofronto-striatal model. *Psychiatry Research*, 2013, **210**(1): 208–214
- [46] Eenshuistra R M, Ridderinkhof K R, Weidema M A, *et al.* Developmental changes in oculomotor control and working-memory efficiency. *Acta Psychologica*, 2007, **124**(1): 139–158
- [47] Cai W, Cannistraci C J, Gore J C, *et al.* Sensorimotor-independent prefrontal activity during response inhibition. *Human Brain Mapping*, 2014, **35**(5): 2119–2136
- [48] Sato T R, Schall J D. Effects of stimulus-response compatibility on neural selection in frontal eye field. *Neuron*, 2003, **38**(4): 637–648
- [49] Boucher L, Stuphorn V, Logan G D, *et al.* Stopping eye and hand movements: are the processes independent?. *Perception & Psychophysics*, 2007, **69**(5): 785–801
- [50] Xue G, Aron A R, Poldrack R A. Common neural substrates for inhibition of spoken and manual responses. *Cereb Cortex*, 2008, **18**(8): 1923–1932
- [51] Brunamonti E, Ferraina S, Pare M. Controlled movement processing: evidence for a common inhibitory control of finger, wrist, and arm movements. *Neuroscience*, 2012, **215**: 69–78
- [52] Aron A R. The neural basis of inhibition in cognitive control. *The Neuroscientist : a Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 2007, **13**(3): 214–228
- [53] Jahfari S, Waldorp L, van den Wildenberg W P, *et al.* Effective connectivity reveals important roles for both the hyperdirect (fronto-subthalamic) and the indirect (fronto-striatal-pallidal) fronto-basal ganglia pathways during response inhibition. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, 2011, **31**(18): 6891–6899
- [54] Watanabe M, Munoz D P. Probing basal ganglia functions by saccade eye movements. *The European Journal of Neuroscience*, 2011, **33**(11): 2070–2090

Cognitive and Neural Mechanisms of Response Inhibition in Hand and Eye Movements*

XUAN Bin**, PENG Su-Hao

(Department of Psychology, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract Response inhibition of hand and eye-movement is to suppress the inappropriate response in hand and eye. Comparing with the classical paradigms such as Go/Nogo or Stop-signal, response inhibition of eye movement can provide more indices, and can separate from the confusion of verbal or hand movement. Response inhibition of hand and eye-movement differ in some neurological and psychiatric disorders, and the different developmental stages. Fronto-basal ganglia circuit play a similar role in eye and hand inhibition, but IFG is only key for hand response inhibition, and FEF and SC are only key for eye response inhibition. The arguments focused on the neural mechanisms, related higher cognitive activity, and the different performance and tendency in neuropsychology and developmental psychology.

Key words response inhibition, stop-signal task, anti-saccade task, frontal-basal ganglia model

DOI: 10.16476/j.pibb.2014.0214

* This work was supported by a grant from The National Natural Science Foundation of China (31171076).

**Corresponding author.

Tel: 86-553-3937007, E-mail: xuanbin@mail.ahnu.edu.cn

Received: December 7, 2014 Accepted: March 4, 2015