

无意识信息引发的认知控制及其神经机制*

蒋 军 陈安涛 张蔚蔚 张庆林

(西南大学心理学院, 重庆 400715)

摘 要 对无意识信息引发的认知控制的研究是揭示意识的功能与局限的重要方法和步骤。在无意识认知控制研究中主要采用模式掩蔽和偏对比掩蔽创设无意识条件,使用客观测量方法对意识状态进行测量。作者从无意识抑制控制、无意识冲突控制和无意识错误加工三个方面回顾了近年对无意识认知控制及其神经机制的研究。已有研究从行为和认知神经研究两个方面强有力地证明了无意识认知控制的存在,揭示了其神经机制。这些研究拓展了人们对意识信息广度和深度的认识,也为未来进一步揭示意识的起源等问题奠定了一定的基础。未来的研究可以从无意识认知控制和有意识认知控制的相互转化等方面进行进一步研究。

关键词 无意识; 认知控制; 抑制控制; 冲突控制; 错误加工; 神经机制

分类号 B842

什么是意识(consciousness)?意识的功能是什么?意识是如何产生的?为了从实验的角度回答上述问题,一种前景比较明朗的方法是为哪些认知加工过程可以在没有意识参与的条件下进行,哪些认知加工过程必须有意识的参与确立一个明确的界限(Mayr, 2004),因为这是了解与揭示意识起源和功能的重要一步(Hughes, Velmans, & De Fockert, 2009; van Gaal, Ridderinkhof, Fahrenfort, Scholte, & Lamme, 2008)。尽管还存在争议(Kouider & Dehaene, 2007),但大量证据已表明动作准备、知觉等较低级的认知加工过程可以无意识地进行(Dehaene et al., 1998; Kouider & Dehaene, 2007);而对于高级的认知功能是否能无意识地进行目前还不清楚。在此背景下,近年来有研究者开始探索认知控制这种高级加工过程是否可以无意识地进行。传统的研究认为认知控制需要意识的参与(例如, Dehaene & Naccache, 2001)。存在这种研究状况的原因是:先前的研究发现认知控制的唤起和执行依赖于前额皮层的功能,而前额皮层又与意识经验有关,因而许多研究者自然而然地想到了“有意识认知控制”的概念,好像“无意识

认知控制”是不可想象的(Hommel, 2007; Suhler & Churchland, 2009)。但是与传统的观点不同,最近的研究发现认知控制不仅可以由有意识信息引发而且还可以由无意识信息引发(例如, Lau & Passingham, 2007; van Gaal, Lamme, Fahrenfort, & Ridderinkhof, 2011; van Gaal, Ridderinkhof, van den Wildenberg, & Lamme, 2009),这些研究为无意识认知控制的存在提供了直接的实验证据。

对无意识认知控制及其神经机制的研究不仅能帮助我们更好地了解认知控制和无意识信息加工,而且从长远来说,对其进行研究或许能帮助我们解答科学中两个最困难的问题:(i)意识是如何起源的?(ii)意识的功能是什么?由于目前该领域的研究还处在起步阶段,为了帮助研究者对该领域有一个整体的把握,更为了促使更多人对该问题进行关注和研究,因而有必要对无意识认知控制领域的相关研究做一个总结与综述,找出已有研究存在的问题,指明主流的研究方向。文章首先介绍了认知控制的概念和无意识认知控制中常用的实验方法,随后从无意识抑制控制、无意识冲突控制和无意识错误加工三个方面阐释和评述了近年来在行为和神经科学中对无意识认知控制的相关研究,接着进一步分析和总结了该领域内存在的一些问题,最后根据这些亟待解决的问题对未来的研究方向提出了一些展望,并对数

收稿日期: 2011-12-12

* 国家自然科学基金(30970892, 31170980)资助。

通讯作者: 张庆林, E-mail: zhangql@swu.edu.cn

据分析和实验设计给出了具体的建议。

1 相关概念与研究方法

1.1 认知控制及其子成分

认知控制是指在新颖的、变化的、突发的情境中调节和监控正在进行的行为以达到目标的一种能力(Ridderinkhof, van den Wildenberg, Segalowitz, & Carter, 2004)。具体来说, 认知控制主要是完成如下认知加工所必需具备的一种能力: 灵活地改变计划与行为、抑制不适宜的行为、监控与解决冲突、觉察错误并从错误中学习(MacKay et al., 2004; van Gaal, Scholte, Lamme, Fahrenfort, & Ridderinkhof, 2011; 岳珍珠, 张德玄, 王岩, 2004)。以上认知加工可以简单地归为三个方面: 抑制控制、冲突控制和错误加工。值得注意的是, 这三个成分之间也不完全是独立的, 比如, 完成这三类认知加工都涉及到对行为的监控。以往研究主要从这三方面对由有意识信息引发的认知控制进行研究, 而近年来研究者也主要从这三个方面探讨由无意识信息引发的认知控制。

1.2 研究范式与实验逻辑

通常采用掩蔽版的认知控制任务来对无意识认知控制进行研究。这些范式是掩蔽范式与传统的认知控制范式的结合, 并根据无意识研究的特点和实验目的进行修改。一般使用掩蔽版的 Stop-signal 或 Go/No-Go 任务对无意识抑制控制进行研究。其实验逻辑是: 在停止(Stop)或不反应(No-go)提示信号被掩蔽而使得被试不能有意识感知它们的情况下, 如果被试仍能在部分试次中根据提示信号成功抑制自己的行为或减慢自己的行为, 那么就证明无意识信息能引发抑制控制(van Gaal, Ridderinkhof, Scholte, & Lamme, 2010; van Gaal et al., 2009)。在无意识冲突控制和无意识冲突适应研究中, 通常使用掩蔽版的启动—目标范式, 启动刺激和目标刺激往往为同一类刺激, 比如都是箭头(Kunde, 2003)或都是数字(Dehaene et al., 2003)。其实验逻辑是: 如果在启动刺激被掩蔽的无意识条件下, 被试在不一致条件下的反应时长于一致条件下的反应时, 则认为无意识信息引发了冲突控制; 如果在无意识冲突控制发生后, 被试能够根据前一试次的冲突信息对随后试次的反应进行策略性的调整则认为无意识信息能

引发无意识冲突适应(van Gaal, Lamme, & Ridderinkhof, 2010)。在无意识错误加工的研究中, 主要采用传统的认知控制任务, 如 Eriksen Flanker 任务, 通过操纵刺激的可视度、呈现时间等条件导致产生较多的错误, 如果没有意识到的错误能够引起与意识到的错误类似的“错误后减慢”现象(post error slowing, 该现象在本文第4小节有详细介绍)或类似的脑机制(Klein et al., 2007), 则认为无意识错误加工发生了。

1.3 掩蔽方法及无意识状态的测量

从上面的叙述可以看出, 掩蔽似乎是无意识控制研究中一个必要的元素。现在主要采用视觉掩蔽来创设无意识情境, 这种方法不但能有效地构造无意识条件而且也使得对无意识状态的测量相对容易。在前人的研究中, 通常使用两类视觉掩蔽刺激: 模式掩蔽(pattern masking)和偏对比掩蔽(meta-contrast masking)。模式掩蔽刺激由字符串(例如, Ansorge, Fuchs, Khalid, & Kunde, 2011; Dehaene et al., 2003; Dehaene et al., 1998)或无规则的线条(例如, Boy, Husain, & Sumner, 2010)等组成。由于启动刺激呈现时间较短, 加之掩蔽刺激的掩蔽作用, 被试往往觉知不到或看不清楚启动刺激。在偏对比掩蔽中启动刺激与掩蔽刺激(该刺激往往也作为目标)具有类似的知觉轮廓(Kunde, 2003; van Gaal, Lamme, et al., 2010; van Gaal et al., 2009; van Gaal, Scholte, et al., 2011), 由于启动刺激刚好填满掩蔽刺激, 因而在呈现时间较短时被试不能觉知到启动刺激的存在。

无意识认知控制研究中涉及到的另外一个问题是如何测量被试是否意识到错误或被掩蔽的刺激。在已有研究中, 区分是否意识到启动刺激主要采用两种测量方式: 主观报告和客观测量。主观报告通常是在每一试次结束之后让被试报告是否意识到启动刺激或者是否意识到自己做出了错误反应。由于主观报告是一种内省的回溯式报告, 因而对被试的报告是否真实地反映了当时的意识状态还存在疑问, 不过 Dehaene 和 Naccache (2001) 提倡主要使用通过该方法获得的数据作为判断被试是否意识到刺激的依据, 因为他们认为意识本身就是一种内省现象。然而最近的大多数研究更多采用客观测量方法(例如, Hughes et al., 2009; van Gaal, Ridderinkhof et al., 2010)。客观测量主要有两种方式, 一种是让被试对与正式实验相同

方式呈现的启动刺激做出觉察反应, 如果觉察率不显著大于 50% 的机率水平, 则认为被试未能有意识地知觉到启动刺激; 另一种方式是让被试对启动刺激进行多择一的分类迫选。以二择一迫选为例: 一类刺激被认为是信号, 另一类刺激被认为是噪音, 然后根据信号检测论相关原理以及击中和虚报的比率计算出辨别力指数 d' 。如果 d' 的值没有显著地大于 0, 则认为被试对启动刺激的知觉是无意识的(Dehaene et al., 2003; Hughes et al., 2009; Kunde, 2003; van Gaal & Lamme, 2011; van Gaal, Lamme, et al., 2011; van Gaal, Ridderinkhof, et al., 2010; van Gaal, Scholte, et al., 2011)。

2 无意识抑制控制

抑制控制(inhibitory control)是一种取消已经发起的动作或者是取消已有计划的能力(van Gaal et al., 2008), 它是认知控制功能在任务计划和行为抑制方面的体现。意识层面对抑制控制的事件相关电位(event-related potentials, ERP)研究显示, 额中 N2 成分(潜伏期为 200~300 ms)和中顶 P3 成分(潜伏期为 300~500 ms)是与抑制控制过程紧密相关的两个 ERP 成分。溯源分析表明, 这些 ERP 成分的神经发生源位于额顶抑制网络: 额上回、额中回、额下回、前辅助运动区或前扣带皮层(van Gaal, Lamme, et al., 2011)。可以看出, 对 N2 和 P3 的精确神经发生源还存在争议。意识层面的脑成像研究发现, 抑制控制激活了背外侧前额皮层、额下回、眶额皮层或基底神经节等脑区(Aron, 2007)。通常使用掩蔽版的 Go/No-go 范式(取消已有计划)和掩蔽版的 Stop-signal 范式(取消已发起但没有执行的动作)来从行为和脑机制两个方面对无意识抑制控制进行研究。

2.1 抑制控制是否可以由无意识信息引发?

van Gaal 等人(2009)考察了无意识的停止信号是否能引发反应抑制, 他们在掩蔽版 stop-signal 任务中要求被试在知觉到停止提示信号(一个灰色的圆点)时, 取消对目标的反应。在一些试次中停止提示可以被清楚地看到, 而在一些试次中由于掩蔽导致不能有意地觉知到。结果显示, 与有意识条件相比, 在无意识条件下的部分试次中被试确实能够根据被掩蔽的停止提示完全地抑制自己的反应, 即使在没有成功抑制的试次中也

表现出了反应时的延长, 并且反应减慢的幅度与被试的反应抑制能力显著相关。这说明, 个体的抑制能力越强无意识反应抑制越明显。在使用与上述实验相同任务的 ERP 研究中, 他们搜集的行为数据重复了上述结果(van Gaal, Lamme, et al., 2011)。在使用掩蔽版的 Go/No-Go 任务的 ERP (van Gaal et al., 2008)和功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究中(van Gaal, Ridderinkhof, et al., 2010), 他们所获得的行为数据也得出了类似的结果。

尽管上述结果清楚地说明, 无意识的不反应提示和无意识的停止提示都能让被试无意识地发起抑制控制。但我们也需注意到, 无意识抑制控制与有意识的抑制控制相比在行为上还主要存在以下两方面的差异: (i)抑制率明显下降。在意识条件下被试能够根据掩蔽的不反应或停止提示信号成功抑制大部分试次, 而在无意识条件下只能成功抑制部分试次, 表现为在意识条件下的抑制率要远远大于无意识条件下的抑制率。(ii)缺乏对后续行为的调节。在有意识抑制控制中, 当被试未能成功地抑制自己的行为时, 会在下一个正确试次对自己的行为做出调整, 表现出错误后减慢, 但这种现象在无意识条件下并没有观察到(van Gaal, Lamme, et al., 2011; van Gaal et al., 2009)。可以看出, 无意识抑制控制的效率明显下降。

2.2 无意识抑制控制的神经机制

最近研究者利用 ERP 和 fMRI 技术对无意识抑制控制的脑机制进行了研究。在一个 ERP 研究中, van Gaal 等人(2008)要求被试完成由掩蔽版 Go/No-go 任务组成的实验任务和控制任务。实验任务以一个灰色实心圆作为不反应提示(呈现 16.7 ms), 以一个正好被实心圆填满的黑色空心圆环作为目标刺激(呈现 100 ms)。这种偏对比掩蔽设计使得不反应提示和目标以无时间间隔的方式连续呈现时被试不能有意识觉知到不反应提示(无意识条件), 而二者以较长的时间间隔(83 ms)连续呈现时被试能意识到不反应提示(有意识条件)。实验任务包含三类试次: 有意识的不反应试次(15%), 无意识的不反应试次(15%), 反应试次(70%, 不呈现不反应提示)。控制任务除了在有意识的不反应试次中以一个黑色十字作为不反应提示之外, 任务其他方面与实验任务完全相同。ERP 结果显示, 实验任务的反应试次和无意识不反应

试次诱发的电位在枕叶和额中电极上都表现出了明显的差异。然而,在控制任务中只发现反应试次和无意识不反应试次在枕叶电极点上诱发的电位存在显著差异,而在额中电极上二者诱发的电位并没有表现出明显的差异。枕叶的电位差异反映的是大脑对无意识不反应提示的视觉编码,而额中电极的电位差异反映的是无意识的不反应提示在PFC引发的抑制控制。上述结果不但在脑电上证实无意识抑制控制的存在,还进一步说明无意识不反应提示只有在作为与任务相关的无意识抑制信号时才会引发抑制控制。在van Gaal等人(2008)的实验中,无意识的抑制控制主要体现在309~418 ms这个时间窗口内的P3成分上。他们发现,无意识不反应试次与反应试次诱发的电位在额中N2成分上并没有表现出明显的差异,但在额中电极的P3成分上无意识不反应试次较反应试次有更大的平均波幅。尽管两类试次诱发的N2成分差异不明显,但他们发现N2成分的波幅与被试的反应时减慢呈显著正相关。然而,意识条件下的不反应试次和反应试次在额中N2和中顶P3上都表现出了明显的差异。溯源分析表明,无意识的抑制控制主要发生在右侧前额皮层。最近,van Gaal, Lamme等人(2011)记录了被试在完成stop-signal任务时的EEG。ERP结果显示,无意识的停止提示信号唤起了前额N2和P3这两种ERP成分,并且无意识停止提示在行为上诱发的抑制控制的效率与N2成分的波幅大小显著正相关。

van Gaal, Ridderinkhof等人(2010)采用fMRI和掩蔽版Go/No-go任务对无意识抑制控制的脑机制进行了研究。该任务包含四种各占25%的试次:有意识不反应试次、有意识反应试次、无意识不反应试次和无意识反应试次。结果发现,被试在部分无意识不反应试次中能成功抑制自己的反应,即使在部分无意识不反应试次中未能成功抑制,他们的反应时也比无意识反应试次的反应时要长。fMRI结果显示,无意识不反应提示激活了前辅助运动区和额下皮层以及与脑岛(anterior insula)前部邻近的区域。他们也发现,这些“无意识抑制网络”的激活程度与不反应提示信号引起的反应时减慢的大小成正相关,因而他们认为这些激活是真正的功能性的。有意识不反应提示激活了顶叶皮层、额下回、额上回、脑岛、背外侧

前额皮层、前辅助运动区、前扣带皮层、额中回等与抑制控制相关的大脑网络。可以看出,与无意识不反应提示信号引起的激活相比,有意识的不反应提示引起了更大程度和范围的额顶抑制网络的激活。

通过对上述有关无意识抑制控制神经机制的相关文献的回顾,我们发现无意识的抑制控制与有意识的抑制控制无论是在时空动态特征还是在在大脑激活模式方面都存在明显的不同。具体来说,在意识层面的采用Go/No-go范式的ERP研究中,抑制控制通常会诱发明显的N2/P3复合体,但观察van Gaal等人(2008)的结果后发现,无意识条件下并没有像意识条件下那样在前额电极出现明显的反映抑制控制的N2成分,无意识的抑制控制仅仅体现在额中的P3成分上,并且P3的波幅也较小。虽然在van Gaal, Lamme等人(2011)的实验中出现了反应抑制控制的N2/P3复合体,但N2和P3成分的波幅在无意识条件下较有意识条件显著减小,潜伏期缩短。从van Gaal, Ridderinkhof等人(2010)的脑成像结果可以看出,无意识抑制控制的大脑激活程度和范围都比有意识抑制控制要小。这些神经机制方面的差异是说明无意识抑制控制与有意识的抑制控制存在不同的抑制控制网络,还是说明无意识抑制控制只是激活了部分抑制控制机制?这个问题目前还不清楚,值得进一步深入的探讨。

3 无意识冲突控制

冲突控制是指在存在冲突或竞争的情境中克服无关信息,选择相关信息以达到目标的过程,它是认知控制的行为监控和冲突解决功能的体现。意识层面的已有研究发现冲突控制主要是由内侧额叶皮层(medial frontal cortex, MFC)负责,它包括前扣带皮层、前辅助运动区、背外侧前额叶皮层等脑区(MacKay et al., 2004; 岳珍珠等, 2004)。前扣带皮层主要负责冲突监控,前辅助运动区负责随意动作选择、背外侧前额叶皮层等负责冲突解决。冲突信息在ERP上会诱发典型的前额N2和额中P3成分。近年来研究者探讨无意识冲突控制时主要关注两个问题:一是冲突控制能否由无意识信息引发;二是经历了无意识冲突后个体是否会对随后的行为作出调整(例如,Ansorge et al., 2011; Kunde, 2003; van Gaal, Scholte et al.,

2011)。

3.1 无意识冲突控制及其神经机制

3.1.1 无意识冲突及其起源

已有研究发现, 虽然不能有意识地觉知到启动刺激, 但当启动和目标之间的时间间隔较短时(0~60 ms), 被试对一致试次的反应要快于对不一致试次的反应; 而当二者之间的时间间隔较长时(100~200 ms), 被试对一致试次的反应反而慢于对不一致试次的反应。前者被称为正相容效应(positive compatibility effect, PCE), 后者被称为负相容效应(negative compatibility effect, NCE) (Boy et al., 2010; Sumner, 2007)。研究者对这两种无意识冲突现象进行了研究, 试图揭示它们的机制。

Dehaene 等人(1998)使用 fMRI 和 ERP 技术在掩蔽版的数字加工任务中考察了无意识冲突(属于 PCE)的起源。他们要求被试对呈现的 1 到 9 的阿拉伯数字或与 1~9 对应的英文数字词做大于 5 还是小于 5 的语义分类判断。在任务中, 当启动刺激与目标刺激都同时小于或大于 5 时则为一致条件, 反之则为不一致条件。结果发现, 不一致试次的反应时比一致试次的反应时长大约 24 ms。作者推测这种冲突源于启动刺激引起的侧向动作准备与目标刺激引起的反应准备之间的冲突(Dehaene et al., 2003), ERP 和 fMRI 结果证实了他们的推测。ERP 结果显示, 启动刺激诱发了反应动作准备的单侧化准备电位(lateralized readiness potential, LRP) (该 ERP 成分的详细含义可参见陈立翰(2008)的文章), 并且 LRP 在一致条件表现出正性偏转, 在不一致条件表现出负性偏转。fMRI 结果显示, 启动刺激诱发的激活在不一致条件要显著地大于一致条件, 而且这些激活源于左、右半球的运动皮层。他们的结果得到了 Praamstra 和 Seiss (2005)的支持。这些结果说明无意识冲突现象主要起源于反应冲突。这种冲突的来源机制似乎并不适用于所有的无意识冲突。因为有研究发现, 当启动刺激启动的是与对目标刺激反应有关的语义时, 冲突可能主要来自于启动信息的语义与目标刺激的语义的不一致(De Pisapia, Turatto, Lin, Jovicich, & Caramazza, 2011)。例如在 Lau 和 Passingham (2007)中的阈下语义任务和 Merikle 和 Joordens (1997)阈下启动 Stroop 任务中, 相容性效应来自于语义上而不仅仅是反应动作上的冲突。

对于 NCE, 大量研究发现冲突效应的反转可能是由于随着启动和目标的 ISI 的延长, 唤起了大脑中无意识抑制机制对启动诱发的动作准备的抑制。这符合大脑的经济原则, 如果动作系统没有对某动作立即执行, 则需要对其抑制以对其他的动作进行准备或反应(Aron et al., 2003; Boy, Husain, Singh, & Sumner, 2010; Eimer & Schlaghecken, 2003; Sumner et al., 2007)。

3.1.2 无意识冲突控制的神经机制

在无意识冲突控制的神经机制研究中, 一个焦点是探讨前扣带皮层是否能监控到无意识的冲突。在 Ursu, Clark, Aizenstein, Stenger 和 Carter (2009)的研究中, 他们要求被试完成一个双任务, 在该任务中刺激(不熟悉的面孔或词语)呈现在水平排列的四个位置中的某个位置, 被试需要在反应盒上快速按与四个位置对应的键, 并且还须记住刺激以备随后对刺激的再认。在任务中刺激以被试不能意识到的概率顺序(probabilistic sequence)呈现。行为结果发现, 尽管被试内隐地学习到了刺激呈现规则, 但是被试并不能外显地意识到这种规则。脑成像结果显示, 与遵从规则的试次(低冲突试次)相比, 当被试违反了这种规则(高冲突试次)时前扣带皮层被强烈地激活。在其他脑成像研究中也发现当违反内隐的学习规则(Berns, Cohen, & Mintun, 1997)或内隐的预期(Rose, Haider, & Büchel, 2005)时, 也引起了前扣带皮层的较强激活。Raz, Fan 和 Posner (2005)考察了在催眠这种特殊的意识状态下被试在完成冲突任务时的脑活动情况。他们发现与没有受暗示或者低催眠控制被试相比, 高催眠个体在行为上的冲突效应显著减小。fMRI 结果显示, 高催眠个体完成冲突任务时前扣带皮层等脑区也得到了激活, 只不过激活程度较控制组减小。这些结果说明, 前扣带皮层可以对无意识的冲突信息进行监控。但必须注意的是, 有的研究得出了与上述研究不一致的结果。Dehaene 等人(2003)发现, 虽然在意识启动和无意识启动条件下在行为数据上都出现了冲突效应, 但 fMRI 结果显示, 前扣带皮层只有在被试有意识地觉察到反应冲突时才被激活。与此类似, 有研究在无意识冲突条件下也没有观察到反映冲突的前额 N2 成分(Praamstra & Seiss, 2005), 在使用 fMRI 测量时也没有观察到前扣带皮层的激活(Aron et al., 2003)。可以看出, 对

于前扣带皮层是否参与了对无意识冲突的监控还存在争议。

最近,在部分研究者的无意识冲突控制研究中特别凸显了前辅助运动区在无意识的冲突解决中的重要的作用。Wolbers 等人(2006)使用 fMRI 考察了不同 block 之间一致试次与不一致试次的数量改变时所引起的策略性控制对无意识冲突的影响。结果发现,在不一致试次较多的 block 中前辅助运动区比在不一致试次较少的 block 中有更大程度的激活,这表明它可能在加工无意识呈现的冲突刺激的策略性控制中起主要作用。最近研究者进一步发现,前辅助运动区中灰质密度的个体差异对无意识冲突控制有重要的影响。运用基于体素的形态学(voxel-based morphometry, VBM)分析方法, van Gaal, Scholte 等人(2011)对被试在完成掩蔽版启动任务时所采集的 fMRI 数据进行分析后发现,前辅助运动区的灰质密度与被试解决意识或无意识冲突的能力呈显著正相关。这说明在前辅助运动区中灰质密度的个体差异与被试在冲突解决中的动作选择有关,而与对冲突诱发刺激的意识水平或程度无关。这些研究突出了前辅助运动区在完成无意识冲突控制任务中的重要作用,表明无意识的冲突诱发刺激能够唤起诸如内侧额叶皮层之类的冲突监控系统。这些研究为前辅助运动区在反应冲突中选择适宜动作这一功能提供了进一步的实验证据。

在 NCE 任务中,研究者发现对行为的无意识自动抑制主要由与随意运动控制有关的区域负责。Sumner 等人(2007)通过对辅助运动区(supplementary motor area)或辅助眼区(supplementary eye field)高度受损的病人和正常被试的对比研究后发现,辅助眼区和辅助运动区在对动作计划的自动抑制中起着特殊的作用。最近一个 fMRI 研究也证实,辅助运动区在控制无意识引起的动作中起着至关重要的作用(Boy, Husain, Singh, et al., 2010), Boy 等人(2010)在测量 GABA 递质浓度(concentration)的实验中也有类似的发现。对 NCE 的脑机制的研究,不仅能加深对 NCE 本身的了解,或许也为冲突解决的方式之一是对无关信息的抑制这种观点提供了实验证据。

3.2 无意识冲突适应

在诸如 Stroop, Eriksen flanker 任务中,通常发现对先前试次(n-1)冲突的觉察减小了当前试次

的冲突(n),这种现象被称为冲突适应效应(conflict adaption effect)(van Gaal, Lamme, et al., 2010)。它通常被认为反映了人类认知加工的灵活性和适应性。然而对于冲突适应是否可以被无意识的信息引发,目前还存在激烈的争论。有研究发现冲突适应这种高阶(higher-order)的认知控制功能只有在经历有意识的冲突后才会发挥作用(例如, Ansorge et al., 2011; Kunde, 2003),但也有研究在无意识的冲突条件下的确观察到了冲突适应现象(例如, van Gaal, Lamme, et al., 2010)。

Kunde (2003)在掩蔽启动—目标范式中考察了冲突适应现象。他们要求被试在任务中根据箭头的指向进行按键反应,启动箭头先于目标箭头呈现,由于目标箭头与启动箭头构成偏对比掩蔽,因而被试并不能觉知到以较短时间呈现的启动箭头(无意识条件),但能觉知到以较长时间呈现的启动箭头(意识条件)。结果发现,尽管在意识和无意识条件下都观察到了反应冲突(当启动箭头和目标箭头的方向不一致时较二者一致时反应时间更长,错误率更高),但只有在有意识条件下才观察到了冲突适应现象。因此,作者认为冲突适应的产生依赖于对最近经历的冲突的觉知,但该结论受到了 van Gaal, Lamme 等人(2010)的挑战。他们使用与 Kunde (2003)类似的实验任务,结果却发现无论是在有意识条件下还是在无意识条件下都观察到了冲突适应现象。他们在排除刺激重复和反应重复的试次后发现,冲突适应效应在有意识和无意识条件下仍然存在。因此,他们认为该效应并不能完全解释为刺激—反应的重复。尽管如此, Kunde (2003)的结果还是得到了 Ansorge 等人(2011)的实验结果的支持。

可以看出,大多数研究并没有在无意识条件下观察到冲突适应现象,这似乎说明冲突适应依赖于对启动刺激或经历的冲突信息的有意识觉知。然而, van Gaal, Lamme 等人(2010)确实观察到了由无意识冲突信息引发的冲突适应。因此,有必要对已有研究存在的结果差异进行进一步探讨和分析。Kunde (2003)和 van Gaal, Lamme 等人(2010)的实验任务最大的差异是:在每一对启动—目标之前 Kunde 都呈现了一个咔声作为警觉信号,而 van Gaal, Lamme 等人在启动—目标对之前并没有呈现任何刺激。van Gaal, Lamme 等人指出这样设计的原因是他们担心呈现注视点等警觉信号

后会导致被试在每一试次结束后分散注意力, 而直到下一个警觉信号出现时再集中注意力, 这可能导致启动刺激引起的较弱的神经痕迹在下一个试次出现之前就已经消失了。由于 van Gaal, Lamme 等人的实验中并没有设置一个有警觉信号的参照条件, 我们无法确定他们的说法是否正确。Greenwald, Draine 和 Abrams (1996) 报告的与意识信息相比无意识信息引起的脑区激活程度更小, 消退也更快。基于这一实验证据, Ansorge 等人(2011)和 Kunde (2003) 强调, 为了调节 n 试次的加工, 必须有意识地觉知到 $n-1$ 试次的冲突信息。但 van Gaal, Lamme 等人(2010)的结果似乎表明, 只要从 $n-1$ 试次到 n 试次的过程中 $n-1$ 试次的冲突信息的记忆痕迹没有消失, 无论是否觉知到冲突信息都可能引起冲突适应。很多研究发现自上而下的注意控制促进了对当前试次的无意识信息的加工(Sumner, Tsai, Yu, & Nachev, 2006)。具体到 van Gaal, Lamme 等人(2010)的研究, 他们的这种实验设计可能使被试将注意更多地集中在任务上, 从而巩固了对 $n-1$ 试次冲突信息的记忆痕迹。然而, 在最近 Ansorge 等人(2011)的研究中, 尽管他们没有设计任何注视点之类的刺激作为警觉信号, 但他们在无意识条件下仍然没有观察到冲突适应。因此, 这些研究结果的存在差异的原因还值得进一步深入探究。

4 无意识错误加工

错误加工是指对错误进行觉察并及时改正的认知加工过程, 它是认知控制的行为监控和调节功能的重要体现。已有研究发现, 由于没有注意到或觉知到目标, 或者是由于行为的自动化等原因往往会导致无意识错误的发生(Ullsperger, Harsay, Wessel, & Ridderinkhof, 2010)。在实验室环境中, 判断被试是否意识到错误的通常做法是在每一试次结束后让被试对屏幕上呈现的关于是否意识到错误的信息做出迫选反应。研究无意识错误加工一个常用方法是对比没有意识到的错误与意识到的错误在行为和脑机制上的差异。

4.1 无意识错误引起的错误后减慢

在行为上, 主要是通过对错误后减慢现象的研究来探讨错误加工。错误后减慢是指错误后(n)的正确试次($n+1$)的反应时比平均正确反应时延长的现象(King, Korb, von Cramon, & Ullsperger,

2010; 蒋军, 陈安涛, 2010)。通常认为出现错误后减慢的原因是个体意识到自己做出错误反应后, 立即通过减慢反应速度或增加对错误后试次的认知控制等来调节自己的行为, 减少或避免错误的发生, 这说明错误后减慢是一个受控的加工过程(Klein et al., 2007; Rabbitt, 1966)。与此观点一致, 有研究者发现只有在意识到错误后(Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band, & Kok, 2001)或者是在有意识条件下(van Gaal et al., 2009)才会表现出明显的错误后减慢。然而, 也有研究发现即使在没有明确意识到错误的情况下也会出现错误后减慢(Hester, Foxe, Molholm, Shpaner, & Garavan, 2005)。另外, Cohen, van Gaal, Ridderinkhof 和 Lamme (2009)在使用掩蔽版 Go/No-go 任务的一个实验中发现, 由无意识的不反应提示引发的无意识反应错误激发了错误后减慢机制, 表现为通过无意识的自上而下的加工来调节随后的反应以减少错误。这说明与有意识的错误一样, 即使是完全无意识到的错误也会影响随后的信息加工和行为。但值得注意的是, 这一结果与我们在 2.1 小节中提及的 van Gaal, Lamme 等人(2011)和 van Gaal 等人(2009)等人的结果相矛盾, 因为他们在这两个实验中都在无意识错误后没有观察到错误后减慢现象, 尤其是 van Gaal 等人(2009)使用的也是与此类似的 Go/No-go 任务。可见, 对错误后减慢能否无意识引发还存在争议, 即使在同一个研究团队也是如此。

4.2 无意识错误加工的神经机制

意识层面的 ERP 研究已确认错误相关负波(error-related negativity, ERN)和错误正波(error positivity, Pe)与错误加工有关, 前者是错误反应后 50-100 ms 内在额中头皮电极点的 ERP 成分的正向偏转, 而后者是错误反应后 200-600ms 内在中顶皮层电极点的 ERP 成分的负向偏转。通常认为 ERN 反映了冲突监控, Pe 反映了错误意识(Ullsperger et al., 2010; 蒋军, 陈安涛, 2010)。

Nieuwenhuis 等人(2001)是最早探讨无意识错误加工的神经机制的研究者, 他们在反眼跳任务(anti-saccade task)中要求被试将注意焦点转向与短暂闪现的线索相反的视野方向。结果发现, 被试不是按照指导语的要求完成任务, 而是首先朝线索的方向看, 然后将注视焦点转向相反的方向。但在每一试次后询问是否做出了错误反应时,

被试报告他们没有犯错误。对完成任务同步记录的脑电分析后发现, 无论是否觉知到错误都会出现 ERN, 而只有当错误被觉知到时潜伏期更长的类似于 P3 的 Pe 成分才会出现。后来的研究者无论是采用动眼反应(Endrass, Franke, & Kathmann, 2005; Endrass, Reuter, & Kathmann, 2007)还是手动反应(O'Connell et al., 2007)任务, 或者是对比跨感觉通道的有意识与无意识的错误(Shalgi, Barkan, & Deouell, 2009), 都重复了 Nieuwenhuis 等人的实验结果。只不过 Endrass 等人(2007)将 Pe 进一步细分为早期 Pe (200~300 ms)和晚期 Pe (400~600 ms)后只发现了错误意识对晚期 Pe 的调节作用, 这说明只有晚期 Pe 反映了对错误的有意识识别, 而且对错误的意识是发生在做出错误反应 300ms 以后(蒋军, 陈安涛, 2010)。与 Nieuwenhuis 等人(2001)的研究中没有觉知到的错误一样, 随后其他的 ERP 研究证实, 没有注意到的错误(Hughes & Yeung, 2011; Maier, Steinhauser, & Hübner, 2008)和以非常低的对比度呈现刺激时所导致的错误也诱发出了 ERN (Pavone, Marzi, & Girelli, 2009)。最近, 有研究者尝试探讨掩蔽导致的无意识错误后减慢的神经生理机制。Cohen 等人(2009)对被试完成掩蔽版 Go/No-go 任务时记录的脑电进行时频分析后发现, 无意识错误引起了随后试次在内侧额叶皮层和枕叶皮层之间的强直振荡同步(tonic oscillatory synchrony)的增大。光谱格兰杰因果分析(Granger causality analyses)发现, 无论是否意识到错误, 从内侧额叶皮层和枕叶皮层之间的定向同步都增大了。这些结果表明, 无意识错误也引起了个体对错误后行为的调节。综上所述, 已有研究发现在有意识和无意识条件下都能对行为进行监控, 表现为两种条件下都出现了明显的 ERN。

尽管意识到的错误与没有意识到的错误都诱发了几乎相同的 ERP 成分, 但在两种条件下还存在以下的差异: (i) ERN 与 Pe 的波幅在无意识错误条件下较有意识条件下小。(ii) 在认知控制的研究中普遍认为, ERN 与 N2 是反映冲突监控的信号(Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004)。然而, Praamstra, Turgeon, Hesse, Wing 和 Perryer (2003)发现, 尽管无意识错误和有意识错误都唤起了 ERN, 但是无意识的错误似乎并没有参与前额的冲突觉察过程。(iii) Scheffers 和 Coles (2000)发现, 虽然在

Eriksen Flanker 任务中觉知到的错误和没有觉知到的错误都诱发了 ERN, 但只凸显了觉知到的错误唤起的 ERN 在有意识运动控制的指标作用。

溯源分析表明, 有意识错误与无意识错误的神经发生源没有明显的差别, 这或许是源定位的低空间分辨率导致的。具体来说, 前人研究发现 ERN 起源于前扣带皮层尾部, 而 Pe 起源于前扣带皮层喙部, 但对 Pe 的精确神经发生源还存在一定的争议(蒋军, 陈安涛, 2010)。也有研究者采用 fMRI 对无意识错误加工的脑机制进行了研究。Hester 等人(2005)发现无论是否意识到错误, 前扣带皮层背侧、前扣带皮层喙部、前辅助运动区都得到了激活。但与没有意识到的错误相比, 意识到错误时大脑双侧前额叶、双侧顶下叶(inferior parietal cortex)的激活程度显著增强。Klein 等人(2007)采用反眼跳任务考察错误意识所引起的大脑活动时也得出了类似的结果。他们发现, 无论是否意识到错误, 前扣带皮层喙部、前辅助运动区、双侧脑岛、双侧额下回都受到激活, 而意识到错误与没有意识到错误相比, 只有前下脑岛(anterior inferior insula)激活程度更大。从以上结果看出, 前扣带皮层的激活并不能区分是否意识到错误, 显然这与对 ERN 与 Pe 的源定位所得的结果不一致。

5 总结与展望

综上所述, 行为和认知神经研究提供的实验数据都强有力地证明了无意识认知控制的存在。已有研究表明, 无意识信息具有比我们想象的更持久的对行为的调节作用。这些研究不但拓展了我们对无意识信息加工广度和深度的认识, 而且拓展了我们对意识的功能与局限的认识, 这说明前额的认知控制功能并非有意识信息加工所独有。从已有研究来看, 无意识认知控制的研究还处于起步阶段, 这些现象背后的精确机制目前还不清楚。

已有研究也还存在众多问题, 因而有较大的研究空间。未来我们可以从以下一些方面来思索和探究无意识认知控制:

(1) 已有研究主要利用掩蔽来创设无意识条件, 但目前无意识认知控制领域内并没有专门的文献关注被掩蔽的信息本身加工到了什么意识水平。似乎已有研究只是把掩蔽作为一种创设无意识条

件的手段。为了揭示无意识认知控制的机制,更为了更一步探讨无意识的起源与功能,未来有必要探讨被掩蔽的无意识信息在大脑中的加工机制。

(2)尽管无意识认知控制似乎与传统的认知控制过程存在明显的不同,它似乎效率更低、灵活性更差、持续时间更短(van Gaal, Lamme, et al., 2011),但在意识和无意识条件下都发现了认知控制现象。这就提出了这样的问题:有意识的认知控制和无意识的认知控制具有两种独立的机制还是他们只是在同一认知控制机制在不同加工深度下表现出的两种形式?将来可以直接对二者的关系进行研究。

(3)已有的关于无意识认知控制的研究,往往采用掩蔽版的启动—目标范式,即诱发认知控制的启动信息以不可见方式呈现,而目标以可见方式呈现,因而严格意义上说前人对无意识认知控制研究并不是直接的。因此,在未来的研究中可以将整个认知控制任务(比如以不可见方式呈现 flanker、Stroop、Simon 等任务)以无意识方式呈现,然后以 ERP 和 fMRI 记录被试在此过程中的神经生理反应。

(4)我们团队一直对无意识与意识的转化及其相互影响非常感兴趣,事实上 Suhler 和 Churchland (2009)也曾提出了类似的问题。具体到认知控制,未来可以探讨无意识的认知控制是否可以转化为有意识的认知控制,或者是相反。如果二者存在相互转化,相互影响,这些功能的实现是依赖于大脑的哪些结构?

(5)在现有的无意识认知控制研究中,采用的阈下启动刺激往往是不带有情绪色彩的中性刺激,这可能是前人的研究效应较小的原因之一。有研究者指出,相对于有意识的刺激无意识刺激引起的大脑激活程度较低,时间更短(Greenwald et al., 1996),因此在有些试次中无意识信息的痕迹可能很快就消失了。为了扩大结果的效应和稳定性,可以采用带有情绪色彩的刺激作为无意识刺激,因为相对于中性刺激,情绪刺激可能会引起更大的注意,使得加工程度更深。

(6)前人在对无意识的研究中,主要依赖于掩蔽范式来创建无意识条件,但是这种方式是否是真正的无意识状态还存在疑问。因而,未来对无意识认知控制的研究中可以对特殊的临床人群

(比如单侧忽视病人,植物人)的认知控制或某种特殊的状态下(视盲、药物滥用造成的幻觉)的认知控制进行研究。

(7)通过对已有研究的回顾后发现,除了有意识控制现象之外也存在无意识认知控制现象,两者之间既有相似之处也有不同,然而现有的理论主要是基于意识层面的认知控制而提出的,因而将来需要拓展相关的理论模型,整合无意识认知控制领域的相关研究发现。

最后,我们提出一些在方法上的建议。在无意识认知控制中往往需要采用一些特殊设计和数据分析方法,以便观察到理想的结果。在 ERP 研究中发现,与意识条件相比无意识条件下的相关 ERP 成分波幅较小,波峰不明显,为了对比意识与无意识条件下的差异往往统计平均波幅的差异。van Gaal, Lamme 等人(2011)采用 sample-by-sample 的 配对 t 检验对平均波幅进行差异检验的方法值得我们借鉴(具体可以参见 <http://52brain.com/forum.php?mod=viewthread&tid=2817> 的讨论),该方法能揭示非常微弱的差异。另一方面为了增强对 EEG 的信号提取,可以在 EEGLab 中采用单次提取(single trial)方法对其进行分析,以更好地揭示无意识认知控制现象。对 EEG 信号通过类单次提取方法(如,小波变换)进行分析后,其峰值往往更加明显(王晶,胡剑锋,闫亮亮,2009)。此外,由于无意识认知控制研究中的刺激呈现时间极短,因此在 fMRI 中为了防止事件的重叠,推荐采用该网站(<http://www.freesurfer.net/optseq/>)提供的软件来安排试次。

参考文献

- 陈立翰. (2008). 单侧化准备电位的含义和应用. *心理科学进展*, 5, 712-720.
- 蒋军, 陈安涛. (2010). 错误正波的神经发生源与功能意义解释. *心理科学进展*, 18, 569-577.
- 王晶, 胡剑锋, 闫亮亮. (2009). 脑电信号单次提取研究进展. *计算机与现代化*, (1), 101-104.
- 岳珍珠, 张德玄, 王岩. (2004). 冲突控制的神经机制. *心理科学进展*, 12, 651-660.
- Ansorge, U., Fuchs, I., Khalid, S., & Kunde, W. (2011). No conflict control in the absence of awareness. *Psychological Research*, 75, 351-365.
- Aron, A. R. (2007). The neural basis of inhibition in cognitive control. *The Neuroscientist*, 13, 214-228.
- Aron, A. R., Schlaghecken, F., Fletcher, P. C., Bullmore, E.

- T., Eimer, M., Barker, R., et al. (2003). Inhibition of subliminally primed responses is mediated by the caudate and thalamus: Evidence from functional MRI and Huntington's disease. *Brain*, *126*, 713–723.
- Berns, G. S., Cohen, J. D., & Mintun, M. A. (1997). Brain regions responsive to novelty in the absence of awareness. *Science*, *276*, 1272–1275.
- Boy, F., Evans, C. J., Edden, R. A. E., Singh, K. D., Husain, M., & Sumner, P. (2010). Individual differences in subconscious motor control predicted by GABA concentration in SMA. *Current Biology*, *20*, 1779–1785.
- Boy, F., Husain, M., Singh, K. D., & Sumner, P. (2010). Supplementary motor area activations in unconscious inhibition of voluntary action. *Experimental Brain Research*, *206*, 441–448.
- Boy, F., Husain, M., & Sumner, P. (2010). Unconscious inhibition separates two forms of cognitive control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*, 11134–11139.
- Cohen, M. X., van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., & Lamme, V. A. F. (2009). Unconscious errors enhance prefrontal-occipital oscillatory synchrony. *Frontiers in Human Neuroscience*, *3*, 54, doi: 10.3389/neuro.09.054.2009
- De Pisapia, N., Turatto, M., Lin, P., Jovicich, J., & Caramazza, A. (2011). Unconscious priming instructions modulate activity in default and executive networks of the human brain. *Cerebral Cortex*, *22*, 639–649.
- Dehaene, S., Artiges, E., Naccache, L., Martelli, C., Viard, A., Schürhoff, F., et al. (2003). Conscious and subliminal conflicts in normal subjects and patients with schizophrenia: The role of the anterior cingulate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*, 13722–13727.
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, *79*, 1–37.
- Dehaene, S., Naccache, L., Le Clec'H, G., Koechlin, E., Mueller, M., Dehaene-Lambertz, G., et al. (1998). Imaging unconscious semantic priming. *Nature*, *395*, 597–600.
- Eimer, M., & Schlaghecken, F. (2003). Response facilitation and inhibition in subliminal priming. *Biological Psychology*, *64*, 7–26.
- Endrass, T., Franke, C., & Kathmann, N. (2005). Error awareness in a saccade countermanding task. *Journal of Psychophysiology*, *19*, 275–280.
- Endrass, T., Reuter, B., & Kathmann, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: Aware and unaware errors in an antisaccade task. *European Journal of Neuroscience*, *26*, 1714–1720.
- Greenwald, A. G., Draine, S. C., & Abrams, R. L. (1996). Three cognitive markers of unconscious semantic activation. *Science*, *273*, 1699–1702.
- Hester, R., Foxe, J. J., Molholm, S., Shpaner, M., & Garavan, H. (2005). Neural mechanisms involved in error processing: A comparison of errors made with and without awareness. *Neuroimage*, *27*, 602–608.
- Hommel, B. (2007). Consciousness and control: Not identical twins. *Journal of Consciousness Studies*, *14*, 155–176.
- Hughes, G., Velmans, M., & De Fockert, J. (2009). Unconscious priming of a no-go response. *Psychophysiology*, *46*, 1258–1269.
- Hughes, G., & Yeung, N. (2011). Dissociable correlates of response conflict and error awareness in error-related brain activity. *Neuropsychologia*, *49*, 405–415.
- King, J. A., Korb, F. M., von Cramon, D. Y., & Ullsperger, M. (2010). Post-error behavioral adjustments are facilitated by activation and suppression of task-relevant and task-irrelevant information processing. *The Journal of Neuroscience*, *30*, 12759–12769.
- Klein, T. A., Endrass, T., Kathmann, N., Neumann, J., von Cramon, D. Y., & Ullsperger, M. (2007). Neural correlates of error awareness. *Neuroimage*, *34*, 1774–1781.
- Kouider, S., & Dehaene, S. (2007). Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *362*, 857–875.
- Kunde, W. (2003). Sequential modulations of stimulus-response correspondence effects depend on awareness of response conflict. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 198–205.
- Lau, H. C., & Passingham, R. E. (2007). Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, *27*, 5805–5811.
- MacKay, D. G., Shafto, M., Taylor, J. K., Marian, D. E., Abrams, L., & Dyer, J. R. (2004). Relations between emotion, memory, and attention: Evidence from taboo stroop, lexical decision, and immediate memory tasks. *Mem Cognit*, *32*, 474–488.
- Maier, M., Steinhäuser, M., & Hübner, R. (2008). Is the error-related negativity amplitude related to error detectability? Evidence from effects of different error types. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*, 2263–2273.
- Mayr, U. (2004). Conflict, consciousness, and control. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 145–148.
- Merikle, P. M., & Joordens, S. (1997). Parallels between perception without attention and perception without awareness. *Consciousness and Cognition*, *6*, 219–236.
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P.

- H., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, *38*, 752–760.
- O'Connell, R. G., Dockree, P. M., Bellgrove, M. A., Kelly, S. P., Hester, R., Garavan, H., et al. (2007). The role of cingulate cortex in the detection of errors with and without awareness: A high-density electrical mapping study. *European Journal of Neuroscience*, *25*, 2571–2579.
- Pavone, E. F., Marzi, C. A., & Girelli, M. (2009). Does subliminal visual perception have an error-monitoring system? *European Journal of Neuroscience*, *30*, 1424–1431.
- Praamstra, P., & Seiss, E. (2005). The neurophysiology of response competition: Motor cortex activation and inhibition following subliminal response priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 483–493.
- Praamstra, P., Turgeon, M., Hesse, C. W., Wing, A. M., & Perryer, L. (2003). Neurophysiological correlates of error correction in sensorimotor-synchronization. *Neuroimage*, *20*, 1283–1297.
- Rabbitt, P. M. A. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, *71*, 264–272.
- Ridderinkhof, K. R., van den Wildenberg, W. P. M., Segalowitz, S. J., & Carter, C. S. (2004). Neurocognitive mechanisms of cognitive control: The role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. *Brain and Cognition*, *56*, 129–140.
- Raz, A., Fan, J., & Posner, M. I. (2005). Hypnotic suggestion reduces conflict in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*, 9978–9983.
- Rose, M., Haider, H., & Büchel, C. (2005). Unconscious detection of implicit expectancies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 918–927.
- Scheffers, M. K., & Coles, M. G. (2000). Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 141–151.
- Shalgi, S., Barkan, I., & Deouell, L. Y. (2009). On the positive side of error processing: Error-awareness positivity revisited. *European Journal of Neuroscience*, *29*, 1522–1532.
- Suhler, C. L., & Churchland, P. S. (2009). Control: Conscious and otherwise. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*, 341–347.
- Sumner, P. (2007). Negative and positive masked-priming implications for motor inhibition. *Advances in Cognitive Psychology*, *3*, 317–326.
- Sumner, P., Nachev, P., Morris, P., Peters, A. M., Jackson, S. R., Kennard, C., et al. (2007). Human medial frontal cortex mediates unconscious inhibition of voluntary action. *Neuron*, *54*, 697–711.
- Sumner, P., Tsai, P. -C., Yu, K., & Nachev, P. (2006). Attentional modulation of sensorimotor processes in the absence of perceptual awareness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*, 10520–10525.
- Ullsperger, M., Harsay, H. A., Wessel, J. R., & Ridderinkhof, K. R. (2010). Conscious perception of errors and its relation to the anterior insula. *Brain Structure and Function*, *214*, 629–643.
- Ursu, S., Clark, K. A., Aizenstein, H. J., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2009). Conflict-related activity in the caudal anterior cingulate cortex in the absence of awareness. *Biological Psychology*, *80*, 279–286.
- van Gaal, S., & Lamme, V. A. F. (2011). Unconscious high-level information processing: Implication for neurobiological theories of consciousness. *The Neuroscientist*, *18*, 287–301.
- van Gaal, S., Lamme, V. A. F., Fahrenfort, J. J., & Ridderinkhof, K. R. (2011). Dissociable brain mechanisms underlying the conscious and unconscious control of behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 91–105.
- van Gaal, S., Lamme, V. A. F., & Ridderinkhof, K. R. (2010). Unconsciously triggered conflict adaptation. *PLoS ONE*, *5*, e11508.
- van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., Fahrenfort, J. J., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2008). Frontal cortex mediates unconsciously triggered inhibitory control. *The Journal of Neuroscience*, *28*, 8053–8062.
- van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2010). Unconscious activation of the prefrontal No-Go network. *The Journal of Neuroscience*, *30*, 4143–4150.
- van Gaal, S., Ridderinkhof, K. R., van den Wildenberg, W. P. M., & Lamme, V. A. F. (2009). Dissociating consciousness from inhibitory control: Evidence for unconsciously triggered response inhibition in the stop-signal task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*, 1129–1139.
- van Gaal, S., Scholte, H. S., Lamme, V. A. F., Fahrenfort, J. J., & Ridderinkhof, K. R. (2011). Pre-SMA gray-matter density predicts individual differences in action selection in the face of conscious and unconscious response conflict. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 382–390.
- Wolbers, T., Schoell, E. D., Verleger, R., Kraft, S.,

Mcnamara, A., Jaśkowski, P., et al. (2006). Changes in connectivity profiles as a mechanism for strategic control over interfering subliminal information. *Cerebral Cortex*, *16*, 857–864.

Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, *111*, 931–959.

Cognitive Control Triggered by Unconscious Information and Its Neural Mechanism

JIANG Jun; CHEN An-Tao; ZHANG Wei-Wei; ZHANG Qing-Lin

(School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Studies on cognitive control triggered by unconscious information provide important methods and procedures to reveal the function and limitation of consciousness. Unconscious cognitive control studies mainly adopt pattern masking and meta-contrast masking to create unconscious condition and measure consciousness by objective means. This paper reviews recent studies on unconscious cognitive control and its neural mechanism from unconscious inhibition control, unconscious conflict control and unconscious error processing. Both behavioral and cognitive neuroscience studies have evidenced the existence of unconscious cognitive control and revealed its neural mechanism. These studies expand our understanding of conscious information and lay the foundation for future revelation of conscious origin. Future directions that researches can be done on transition between unconscious cognitive control and conscious cognitive control are also discussed.

Key words: unconsciousness; cognitive control; inhibition control; conflict control; error processing; neural mechanism