

前扣带皮层与冲突控制

岳珍珠¹, 周晓林^{1,2}

(1. 北京大学心理学系, 北京市 100871; 2. 天津师范大学心理与行为研究中心, 天津市 300074)

摘要: 大脑前扣带皮层与行为监控有密切的联系, 主要包括检测错误和解决冲突。本文简述了引起前扣带皮层激活的冲突情境, 并对前扣带皮层参与冲突控制的理论争论、功能分解, 以及与功能相应的解剖定位等问题进行阐述, 进一步明确前扣带皮层在认知控制及注意调节中的作用。

关键词: 前扣带皮层; 冲突; 控制

中图分类号: B845 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2677(2005)02-0030-06

前扣带皮层 (anterior cingulate cortex, ACC) 位于额叶内侧与胼胝体 (corpus callosum) 相邻处, 被认为在认知控制和行为监控中起到广泛的作用 (D'Esposito, 1995; Posner et al., 1998)^{[1][2]}。然而, 目前关于 ACC 在认知加工中的特定作用还没有比较一致的意见。

相当多的认知实验, 包括言语、学习、记忆、知觉靶子检测、表象、运动控制以及双任务等 (Procyk et al., 2000; Ullsperger et al., 2003)^{[3][4]} 报告了 ACC 的激活。很显然从以上诸多任务中找到一个有意义的共同因素来解释 ACC 为什么会在其中参与是很难的。近年来有关冲突监控的研究为理解 ACC 在认知任务中的作用提供了新的思路, 因为人们很容易发现, 在 ACC 参与的大量任务中几乎都有冲突情境的出现。所以, ACC 可能本质上与冲突的出现有关。我们综述了引起 ACC 激活的冲突情境, 然后根据目前 ACC 参与冲突控制的理论、功能及定位等处于主流的问题纷争, 进一步明确 ACC 在认知控制及注意调节中的作用。

一、引起 ACC 激活增加的冲突情境

引起 ACC 激活的冲突情境主要有如下几种:

(1) 克服占有优势但与任务无关的反应 (response

override); (2) 可能引起被试犯错误的任务情境 (error commission); (3) 要求在一系列同等权重的反应中选择 (underdetermined responding) (Botvinick et al., 2001; Botvinick et al., 2004)^{[5][6]}。下面重点陈述与冲突直接相关的前两种。

(一) 克服不适当的优势反应

当在实验中要求被试克服一些自动化, 但是和当前任务相关的反应时, ACC 通常会有激活。最好的例子就是经典的 STROOP 冲突范式。其中要求被试命名呈现的颜色词的颜色。词的意义与呈现的颜色不同时 (例如, 绿色的 red), 被试的反应时会比二者相同时 (例如, 红色的 red) 或词为非颜色词时 (例如, 红色的 bed) 明显加长。对于 STROOP 现象的一般解释为, 当词的意义与词呈现的颜色相同时, 对颜色的命名会受到读词的影响。由于对词的阅读是一种很强的自动化反应, 会干扰对颜色的命名。被试对词呈现的颜色做反应, 需要克服对词本身的阅读。研究发现 STROOP 任务中, 与一致条件和中性条件相比, ACC 在不一致条件下有更大的激活 (Pardo et al., 1990)^[7]。还有一些其他要求抑制优势反应的任务也发现了 ACC 的激活。如 Taylor et al. (1994)^[8] 在一种条件下要求被试命名单个呈现的字母: B、J、Q、Y, 然

收稿日期: 2005-01-19

作者简介: 岳珍珠 (1980 -), 女, 黑龙江讷河人, 北京大学心理学系, 博士研究生, 主要研究认知心理学; 周晓林 (1964 -), 男, 江苏扬州人, 北京大学脑科学与认知科学中心, 研究员, 心理学系, 教授, 博士生导师, 中国青年科技奖获得者。通讯作者: 周晓林

基金项目: 国家攀登计划 (95 - 专 - 09)、国家自然科学基金委 (30470569), 教育部科学技术重点项目基金 (02170)、中国科学院知识创新工程方向性项目 (KGCX2 - SW - 101)。

后在另一种条件下被试根据一种简单的规则用同一组内的不同字母来命名当前出现的字母(如,如果J呈现,那么反应Y)。后一种条件中要求他们克服读取字母本身的优势反应,结果发现了冲突情境下 ACC 的激活。类似的,在 Simon 效应、整体-局部范式、Go/No-Go 范式等任务中都发现了不一致条件下 ACC 的激活。

与不一致条件下冲突的检测相联系的 ERP 成分是 N450。它是额中区域的负波或者是额极的正波(phasic frontal central negativity/ frontal polar positivity),在刺激呈现后的 400 到 500 毫秒之间达到峰值(West et al., 2003)^[9]。研究发现它定位于 ACC,且 ACC 存在病理或精神分裂症的个体会表现出 N450 减弱。

(二) 犯错误

许多研究发现 ACC 的活动与被试的错误反应相关,这方面的证据主要来自于实验中发现 ACC 的活动与错误间存在相关,尤其是错误相关负波(Error-related negativity, ERN, Ne)的研究。错误相关负波指在一系列加速反应任务中呈现反应冲突时,人们通常做快速的、冲动性错误,称之为“slip”(是指适当运动程序的不正确执行),slip 出现后的 50 到 150 毫秒,会出现一个大的负波,即 ERN。它是与犯错误行为伴随的特定 ERP 成分(Yeung et al., 2004)^[10],偶极子分析和事件相关 fMRI 的研究都发现 ERN 和错误反应定位于 ACC 皮层较大的激活(Carter et al., 1998; Gehring, et al., 2000)^{[11][12]}。

与错误相联系的主要 ERP 成分还包括 N2 和 Pe。N2 通常出现在额区,偶极子分析表明它定位于尾部 ACC,与 ERN 的定位一致。它在不一致的试次(Trial)中,比一致的 Trial 中表现出更大的振幅(Van Veen et al., 2002; Nieuwenhuis et al., 2004;)^{[13][14]}。Pe,又称错误正波。研究表明嘴部 ACC 区域在错误后也会激活,但是在时间上有延迟,与之对应的 ERP 成分为 Pe。它在错误反应后的 200 - 500 毫秒,ERN 峰后的 200 到 250 毫秒达到峰值(Van Veen et al., 2002; West et al., 2004)^{[13][15]}。Falkenstein et al. (2000)^[16]提出 Pe 可能是一个延迟的与刺激相关的 P300,或者是与即刻的错误修正相关的神经机制。它由错误事件引发,反映了出现错误时必要的额外处理过程。

Van Veen 等人(2002)^[17]研究发现,N2 反应的是在正确的 Trial 中 ACC 会在反应前被激活。而错误 Trial 后紧邻的 ACC 激活则反应为 ERN。

Nieuwenhuis 等人(2001)^[18]考察被试没有意识到的反应错误后的 Ne 和 Pe。一般研究认为主观没有觉察到的眼动错误几乎总是被很快地修正,并且修正错误时间短、眼动较小。结果发现不管被试是否意识到错误,错误的眼动后面总是有很大的 Ne。相对比,Pe 在知觉到错误时表现更大。这与 Ne 和 Pe 反映了两个分离的错误监控过程,其中只有 Pe 与有意识地错误再认和补救行为有关。

二、ACC 参与冲突控制的理论争论

关于 ACC 功能的共同观点是,当环境发生快速变化时需要 ACC 的参与。最早关于 ACC 参与冲突控制的理论基于 Hopfield 等人(1982)的能量学说^[19],这一理论把冲突定义为在 PDF 网络的反应层上计算的能量,能量只能在反应层上计算,对一组感兴趣的单元的活动以及它们彼此间如何联系进行测量。高能状态可能是不同信息加工串扰的结果。ACC 负责检测这种高能状态,参与控制来降低能量状态。对于 ACC 如何参与并完成冲突控制,有如下几种代表性的理论。

(一) 选择行为理论

选择行为理论(selection for action 或 attention for action)是指一系列指导环境中物体选择的过程。ACC 具有策略(strategic)的功能,即 ACC 参与自上而下的控制,抑制或克服不适当反应,从而降低冲突。这一理论可以解释很多数据,在此基础上也发展行为监控理论(action monitoring)。ACC 的行为监控理论认为 ACC 参与某种形式的注意,即行为注意,对于给定情境中的适应性行为起到重要作用。最近的研究证明 ACC 参与如下的行为调节过程:(1)监控情境违反(即期望违反);(2)监控与情境有关的反应;(3)评估期望违反的动机或情感后果。这些基本功能参与支持行为的适应性调节(Luu et al., 2000; Luu et al., in press)^{[20][21]}。

(二) 错误侦测假说

ERN 的电生理研究提供了错误侦测系统(Error detection system)存在的证据,研究发现被试可以在 100 毫秒内修正行为失误(action slip),以及被试发现错误后会出现随后 Trial 中减慢但更为准确的反应,证明存在错误侦测系统(Rabbitt, 2002)^[22]。错误侦测假说(Error detection hypothesis)认为 ACC 通过对正确的和实际的反应进行比较,负责检测错误;或者 ACC 面对错误时提供一种情感或动机信号来解决冲突。该假说认为

ACC 通过比较计划和实际操作的行为表征,检测到其中存在不匹配而产生 ERN。ERN 很早就出现表明正确反应的表征来自于“传出命令”(efference copy),而不是来自于本体感受的反馈(Falkenstein et al, 2000; Ullsperger et al., 2004)^{[16][23]}。

(三) 冲突监控理论

冲突监控理论(conflict monitoring)认为在信息加工中存在一个监控冲突出现的系统,这种功能

被称为冲突监控(Botvinick, 2001)^[5]。冲突监控系统首先评估当前的冲突水平,然后把这一信息传递到负责控制的中央成分,引发它们调节对加工的影响强度。冲突监控理论提出两个相互关联的假说:(1)特定的脑区,尤其是背侧 ACC,对信息加工中的冲突出现做反应。(2)这种冲突信号引发了认知控制的策略性调节,负责阻止随后任务间的冲突。冲突监控系统起作用的神经网络如图 1 所示。

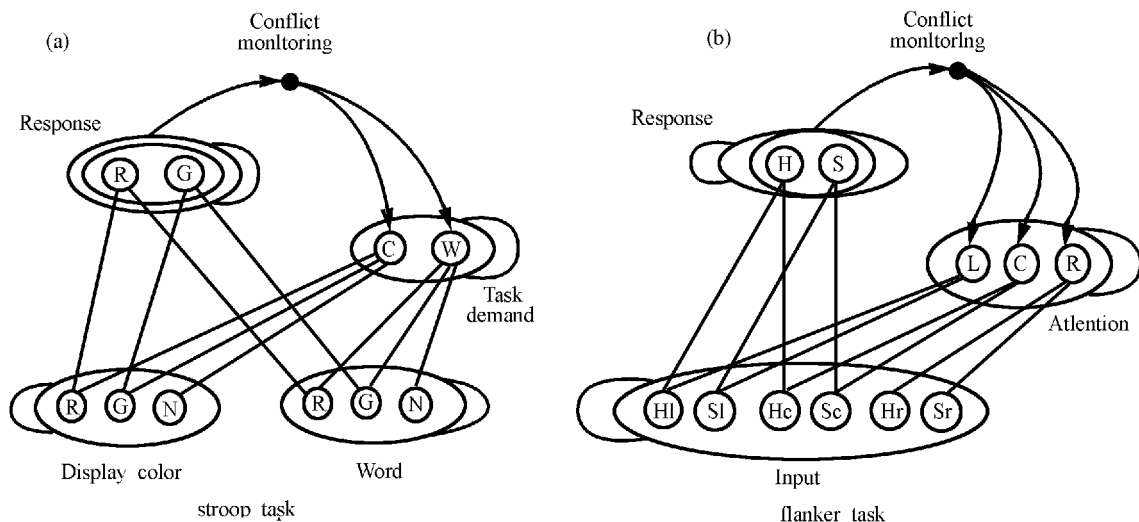


图 1 STROOP 任务(a)和 FLANKER 任务(b)中冲突监控完成的神经网络。(a)中,读词和命名颜色的通路在反应层聚集,反应单元可能会把加工偏向于一个反应通路或者另一个。在反应层的冲突会引起冲突监控单元的激活(蓝色),它转过来会调节任务单元的活动。基本的模型(黑色)源取自 Cohen(1994)。(b)中,在基本模型中(黑色),靶子和侧抑制刺激输入把激活送到反应层,并且注意单元会把加工偏向于靶子输入。在反应层的冲突会引起冲突监控单元的激活(蓝色),它转过来会调节注意单元的活动,此图源取自 Cohen(1992)。本文中的图来源于 Botvinick(2004)。

上面我们概述了冲突控制中的几个代表性的模型,其中冲突监控模型提出较晚,但被许多实验证据支持。如 Botvinick 等人(1999)^[24]认为 ACC 并不是参与自上而下的注意控制,而是检测并提供信息加工中冲突产生的信号。他的实验成功根据前后两个相邻 Trial 的类型,分离了冲突(conflict)和控制(control)两个概念。在不一致-不一致 Trial 中,控制最高,但冲突是低的。但是,在一致-不一致 Trial 中,控制是低的,冲突最强。根据冲突监控理论,在一致-不一致 Trial 中,冲突最强,ACC 的激活最大。而根据选择行为理论,在不一致-不一致 Trial 中,选择行为的要求最大,ACC 的激活应该最大。他们控制给定的 Trial 集中选择行为的强度和反应冲突的强度,结果进一步支持了冲突监控理论的观点。Donkers 等人(2004)采用 GO/No-Go 任务,发现, N2 在 GO Trial 和 No-Go Trial 中的激活是相似的,结果支持了冲突监控理论,而与 N2 的抑制假设不符^[25]。但是这一模型也面临着新的挑战,尤其是该理论关于对

错误加工的解释方面。

三、ACC 在功能上的分离

(一) ACC 的策略功能

Berlyne(1960)提出冲突与认知控制的调节是相关联的。冲突的出现导致知觉选择的补偿调节,这样反过来可以减轻冲突。传统的观点认为 ACC 可以通过采取某种策略来降低反应冲突,从而完成认知控制。

(二) ACC 与错误相关

加速反应任务关于 ERN 的研究引发了“ACC 参与监控和弥补错误”的观点,许多 fMRI 实验发现 ACC 与在任务中犯错误有关(Carter et al., 1998; Kiehl et al., 2000)^{[11][26]}。而且许多电生理研究报告错误反应后很快会出现额中的负波,即 ERN。但是因为没有反应竞争的简单选择反应任务中也可以观察到 ERN,其中 ERN 是对行为监控的指标但与反应冲突无关,所以基于 ERN 的研究只能证明 ACC 与错误相关,无法证明 ACC 是否与

冲突有关。

(三) ACC 与冲突检测有关

有实验数据表明,ACC 不一定只是与错误相联系的,可能更多的反应了冲突存在。例如,Vidal 等人(2000)^[27]观察到在正确的 Trial 里也会观察到 Ne/ERN,而不是只在错误的 Trial 中。这种正确与错误的反应都有 ACC 的活动支持 ACC 反映了冲突的检测,而不一定与明显的错误相关(Carter et al.,1998; Gehring et al.,2001)^{[11][28]}。

这一理论基于如下的推理:加速反应任务中的错误是不成熟的、冲动型的反应,此时刺激的分析并不完全。甚至当冲动性的错误被执行时,刺激评估也能持续地引起正确反应激活。这样正确和不正确反应表征可能同时被激活,然后两种通路发生串扰,引起冲突。Van Veen 等人(2002)采用 FLANKER 任务,发现 ACC 在不正确反应之后,正确反应前都会激活。且它们分别反应为不同的 ERP 成分,即 Ne/ERN 反映了错误反应后的冲突监控,即错误检测(error detection);而 N2 反映了正确反应前的冲突监控,即反应抑制(response inhibition)^[13]。

同样,Van Veen 等人(2004)采用事件相关 fMRI,考察时间估计任务中 ACC 是否能够区分正确和不正确反馈的刺激。结果发现虽然被试表现出调节错误反馈后的行为,但是并没有观察到错误反馈引发的 ACC 活动。相反,发现正确反馈激活了广泛的大脑区域(包含双侧的尾状核,右侧的壳核,右侧的扣带皮层的嘴部和后部,双侧的前额中、下回,双侧的颞上回,以及右侧和内部的枕叶皮层)^[29]。

(四) ACC 与反应竞争有关

Carter et al. (1998)^[11]采用事件相关 fMRI,考察 AX-CPT 任务相关的 ACC 功能,结果验证了 ACC 在错误反应中会有活动。然而在增加反应竞争的条件下,正确反应也会引发同一区域的活动增加,这表明 ACC 检测错误可能发生的条件,而不是错误本身,其中包含对正确的反应表征与实际的反应表征相比较的过程。Carter 等人认为 ACC 不只完成这一比较的过程,它还在任务操作的过程中监控竞争。例如当一个任务引发优势的、但不适当的反应倾向时,反应竞争会增加。这样在高反应竞争的正确反应中,也会有 ACC 的激活。Carter et al. (2000)^[30]采用 fMRI 来考察 STROOP 变式任务,通过操纵被试对刺激类型的预期和不同的任务条件,分离 ACC 的策略(strategic)和评估(Evalu-

ative)功能。作者做了两种预期,即如果 ACC 负责自上而下的控制过程,那么它会在采取策略且冲突降低的 Trial 中有最大激活;如果 ACC 负责评估功能,检验不合适的反应倾向间的竞争,那么它在策略参与少而冲突高的 Trial 中激活最大。结果证明 ACC 负责评估功能,而不负责策略功能。ACC 要检测认知状态,比如反应竞争等,并且表征需要参与的策略过程的知识。但对于 ACC 是只对某一水平的竞争起作用,还是它对于加工早期的竞争也有反应还不清楚。

四、ACC 的功能在解剖上的分离

综上所述,ACC 在冲突控制中表现出不同功能,对错误和反应抑制、竞争都可能起作用。这引发如下问题,即 ACC 的子区域是否存在与不同功能对应的特异化区域?

较早的研究曾进行简单分类,发现 ACC 的嘴部/腹侧的区域与情感相联系,而尾部/背部的区域与认知和高级的动作控制相联系。ACC 与认知相关的部位对于调节反应抑制和错误加工等行为很重要。在大多数研究中,ACC 与冲突有关的反应被定位于扣带沟上方,大多数为从嘴部到前联合的 2cm² 的平面上,称之为前侧嘴部扣带区。最近的研究表明,相关的激活可能位于更背侧的位置,在前辅助运动区的地方(Caravan, et al.,2003)^[31]。Matthews (2004)采用两种速度呈现类似于 STROOP 的任务,考察背侧和腹侧 ACC 的子功能。结果发现,左侧的背侧 ACC 与反应抑制有关;左侧的腹侧 ACC 与副交感神经系统的调节作用有关^[32]。

最近的实验发现冲突检测和错误监控在解剖上、功能上是可以分离的。Menon et al (2001)^[33]考察了 Go/No-Go 任务中与抑制反应失败相关和错误相关的脑活动。发现错误相关的脑激活,位于右侧扣带的嘴部(BA24/32)、相邻的前额皮层内侧、双侧脑岛皮层、相邻的岛盖额部(BA47),以及左侧的楔前叶/后部的扣带(BA 7/31/29)。与反应抑制和竞争相关的脑区主要包括双侧的 DLPFC (BA9/46)、额下皮层的部分三角区(pars triangularis, BA 45/47)、前运动皮层(BA 6)、顶下小叶(BA 39)、舌回及尾状核,以及前 ACC 的右侧(BA 24)。Swick et al. (2002)^[34]结合电生理和神经心理,考察了一名 ACC 嘴部到中背部局限损伤的病人在冲突任务中的成绩。发现与控制组相比,病人在不正确反应后的 ERN 成分削弱,同时错误改正率也较低。相反,正确的冲突 Trial 时与冲突相关

的刺激锁时 N450 成分增强。结果表明嘴部到背侧的 ACC 区域损伤影响对错误反应的检测,但不影响冲突检测。说明这一区域参与错误监控,且错误监控与冲突检测过程是分离的。Carter 等人(1998)^[11]还进一步检验了三个与错误和竞争相关的脑区。结果发现 BA9、BA46/9、BA6 区都表现出与错误相关,但与反应竞争无关。上面的研究证明 ACC 有很广泛的监控机制,不同的解剖定位与不同的功能相联系。一个对于 ACC 负责反应冲突和错误加工在解剖上的分离如图 2 所示。

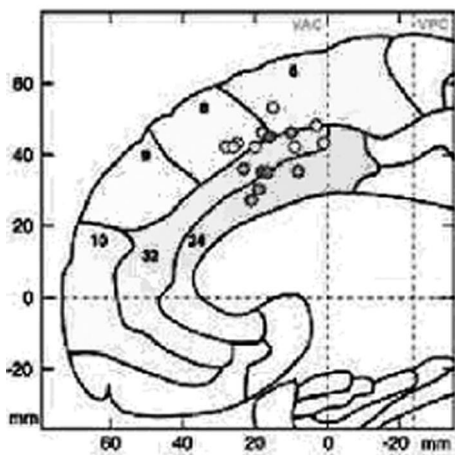


图 2 ACC 负责的不同功能在解剖上的分离(整理自 Ullsperger, 2004)。先前研究中与反应冲突(浅黄色)和错误加工(桔色)相关的额内区域激活的比较示意图。与冲突相关的激活的平均定位用深蓝色标识,与错误相关的活动的平均定位用红色标识。十字交叉处分别为前后联合。坐标点取自 Barch et al. (2001; 反应冲突), Braver et al. (2001; 反应冲突和错误加工), Carter et al. (1998, 2000; 皆为反应冲突), Caravan et al. (2002; 错误加工), Kiehl et al. (2000; 错误加工), Mac Donald et al. (2000; 反应冲突), Milham et al. (2001; 反应冲突), Ullsperger and von Cramon (2001, 2003; 皆为反应冲突和错误加工), Volz et al. (2003; 反应冲突), Zysset et al. (2001; 反应冲突), 以及 Ullsperger et al. (2004; 错误加工)。如果需要,坐标可以根据 Brett(2002)的方法转成 Talairach 坐标。X 坐标轴一律设为四个单位,这样可以看清一个矢状面。VAC 指前联合的垂直平面。VPC 指后联合的垂直平面。

五、需要关注的问题

现有研究使得我们对于 ACC 与脑内认知控制及冲突监控间的关系有了比较清楚的理解。同时也显现出目前仍有需要进一步研究的问题。

(一) 增加对 ACC 监控机制的研究

监控(monitoring)与控制(control)是两个完全不同的过程。控制是指一种自上而下的、资源有限的认知机制,根据注意、指导的情境或者目标表

征来调节信息加工;监控是指如果信息加工不充分,把一个简单的算法运用于有限的信息领域,以评估信息加工的质量并且执行控制,使控制机制警觉的一种认知机制。因为没有监控机制,控制根本不能完成,由此可以认为监控和控制是两个互补的过程。现在对于控制研究较多,但是对监控机制考察的很少。

(二) 从 ACC 功能整合的角度来理解冲突控制

ACC 除参与冲突控制外,还与情绪、动机、情感、奖赏、收益、心理努力以及行为的自我监控等广泛的认知功能相联系。Botvinick (2004)^[6]提出可以把“冲突做为心理努力需求的指标”,ACC 在与心理努力伴随的认知情境下就会激活。此外还有将心率、皮肤电等指标与 ERN 测量相结合的研究(Hajcak et al., 2004)^[35]。现有关于 ACC 在冲突控制和错误检测中的功能探讨,对于进一步理解 ACC 在广泛的认知情境中起作用是很有益的。

参考文献:

- [1] D'Esposito M, Detre J A, Alsop D C, Shin R K, Atlas S, Grossman M. *The neural basis of the central executive of working memory*[J]. *Nature*, 1995, 378: 279 - 281.
- [2] Posner m I, DiGirolamo G J. *Executive attention: conflict, target detection and cognitive control*[A]. In R Parasuraman (Ed.) *The Attentive Brain*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998, 401 - 423.
- [3] Procyk E, Tanaka Y L, Joseph J P. *Anterior cingulate activity during routine and non-routine sequential behaviors in macaques*[J]. *Nature Neuroscience*, 2000, 3, 5: 502 - 508.
- [4] Ullsperger M, Von Cramon D Y. *Error Monitoring using external feedback: specific roles of the habenular complex, the reward system, and the cingulated motor area revealed by functional magnetic resonance imaging*[J]. *The Journal of Neuroscience*, 2003, 23, 10: 4308 - 4314
- [5] Botvinick M M, Braver T S, Barch D M, Carter C S, Cohen J D. *Conflict monitoring and cognitive control*[J]. *Psychological Review*, 2001, 108, 3: 624 - 652.
- [6] Botvinick M M, Cohen J D, Carter C S. *Conflict monitoring and anterior cingulated cortex: an update*[J]. *Trends in Cognitive Science*, 2004, 8, 12: 539 - 546.
- [7] Pardo J V, Pardo P, Janer K W, Raichle M E. *The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm*[J]. *PNAS*, 1990, 87: 256 - 259.
- [8] Taylor S F, Kornblum S, Minoshima S, Oliver L M, Koeppe R A. *Changes in medial cortical blood flow with a stimulus-response compatibility task*[J]. *Neuropsychologia*, 1994, 32: 249 - 255.
- [9] West R. *Neural correlates of cognitive control and conflict detection in the stroop and digit-location tasks*[J]. *Neuropsychologia*, 2003, 41: 1122 - 1135.
- [10] Yeung N, botvinick M M, Cohen J D. *The neural basis of er*

- ror detection: conflict monitoring and the error related negativity[J]. **Psychological Review**, 2004,111, 4: 931 - 959.
- [11] Carter C S, Braver T S, Barch D M, Botvinick M M, Noll D, Cohen J D. *Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance* [J]. **Science**, 1998, 280: 747 - 749.
- [12] Gehring W J, Knight R T. *Prefrontal-cingulate interactions in action monitoring*[J]. **Nature neuroscience**, 2000,3, 5:516 - 520.
- [13] Van Veen V, Carter C S. *The timing of action monitoring processes in the anterior cingulate cortex* [J]. **Journal of Cognitive Neuroscience**, 2002, 14,4:593 - 602.
- [14] Nieuwenhuis S, Yeung N, Cohen J. *Stimulus modality, perceptual overlap, and the go/no go N2*[J]. **Psychophysiology**, 2004,41:157 - 160.
- [15] West R, Rowry R, McConville C. *Sensitivity of medial frontal cortex to response and nonresponse conflict* [J]. **Psychophysiology**, 2004,41, 739 - 748.
- [16] Falkenstein M, Hoormann J, Christ S, Hohnsbein J. *ERP components on reaction errors and their functional significance: tutorial*[J]. **Biological Psychology**, 2000, 51: 87 - 107.
- [17] Van Veen V, Carter C S. *The anterior cingulate as a conflict monitor: fMRI and ERP studies* [J]. **Physiology & Behavior**, 2002,77:477 - 482.
- [18] Nieuwenhuis S, Ridderinkhof K R, Blom J, Band G P H, KOK A. *Error related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task*[J]. **Psychophysiology**, 2001,38:752 - 760.
- [19] Hopfield J J. *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities* [J]. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 1982,79:2554 - 2558.
- [20] Luu P, Flaisch T, Tucker D M. *Medial frontal cortex in action monitoring* [J]. **The Journal of Neuroscience**, 2000, 20,1:464 - 469.
- [21] Luu P, Pederson S M. *The anterior cingulate cortex: regulating actions in context* [A]. In M. I. Posner (Ed.), **Cognitive Neuroscience of Attention**. New York: Guilford Publication, Inc. (in press).
- [22] Rabbit P. *Consciousness is slower than you think*[J]. **Quarterly Journal of Experimental Psychology**. 2002,55A:1081 - 1092.
- [23] Ullsperger M, Von Cramon D Y. *Neuroimaging of performance monitoring: error detection and beyond*[J]. **Cortex**, 2004, 40:593 - 604.
- [24] Botvinick M, Nystrom L E, Fissell K, Carter C S, Cohen J D. *Conflict monitoring versus selection for action in anterior cingulate cortex*[J]. **Nature**, 1999, 402, 11: 179 - 181.
- [25] Donkers F C L, Boxtel G J M. *The N2 in go/no go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition* [J]. **Brain and Cognition**, 2004,36:165 - 176.
- [26] Kiehl K A, Liddle P F, Hopfinger J B. *Error processing and the rostral anterior cingulate: An event-related fMRI study*[J]. **Psychophysiology**, 2000,37:216 - 223.
- [27] Vidal F, Hasbroucq T, Grapperon J, Bonner M. *Is the error negativity specific to errors?* [J] **Biological Psychology**, 2000,51:109 - 128.
- [28] Gehring W J, Fencsik D E. *Functions of the medial frontal cortex in the processing of conflict and errors* [J]. **The Journal of Neuroscience**, 2001,21,23:9430 - 9437.
- [29] Van Veen V, Holroyd C B, Cohen J D, Stenger V A, Carter C S. *Errors without conflict: Implications for performance monitoring theories of anterior cingulate cortex* [J]. **Brain and Cognition**, 2004,56:267 - 276.
- [30] Carter C S, Macdonald A M, Botvinick M, Ross L L, Stenger V A, Noll D, & Cohen J D. *Parsing executive process: Strategic vs. evaluative functions of the anterior cingulate cortex*[J]. **PNAS**, 2000,97,4:1944 - 1948.
- [31] Garavan H, Ross T J, Kaufman J, Stein E A. *A midline dissociation between error-processing and response-conflict monitoring*[J]. **NeuroImage**, 2003,20:1131 - 1139.
- [32] Matthews S C, Paulus M P, Simmons A N, Nelesen R A, Dimsdale J E. *Functional subdivisions within anterior cingulate cortex and their relationship to autonomic nervous system function*[J]. **NeuroImage**, 2004, 22:1151 - 1156.
- [33] Menon V, Adelman N E, White C D, Glover G H, Reiss A L. *Error-related brain activation during a go/no go response inhibition task*[J]. **Human Brain Mapping**, 2001,12: 131 - 143.
- [34] Swick D, Turken A U. *Dissociation between conflict detection and error monitoring in the human anterior cingulate cortex*[J]. **PNAS**, 2002, 99,25:16354 - 16359.
- [35] Hajcak G, McDonald N, Simons R F. *Error related psychophysiology and negative affect* [J]. **Brain and Cognition**, 2004,56:189 - 197.

责任编辑 曹 莉

Anterior Cingulate Cortex and Conflict Control

YUE Zhen-zhu¹, ZHOU Xiao-lin^{1,2}

(1. Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871, China;

2. The Research Center of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

Abstract: Anterior cingulate cortex is closely associated with performance monitoring, including error detection and conflict resolution. This paper reviewed the ACC activation studies, the theories of ACC involved in conflict control, and the dissociation of ACC in function and anatomy. This helps to understand the role of ACC in cognitive control and attentional modulation.

Key words: anterior cingulate cortex; conflict; control