

www.cnki.net

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/No2Go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)<sup>[9]</sup>。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)<sup>[10]</sup>,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)<sup>[11][12]</sup>。

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;)<sup>[13][14]</sup>。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)<sup>[13][15]</sup>。Falkenstein et al. (2000)<sup>[16]</sup>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)<sup>[17]</sup>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)<sup>[18]</sup>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<sup>[19]</sup>,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)<sup>[20][21]</sup>。

### (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)<sup>[22]</sup>。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

www.cnki.net

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)<sup>[27]</sup>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

www.cnki.net

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)<sup>[11]</sup>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。

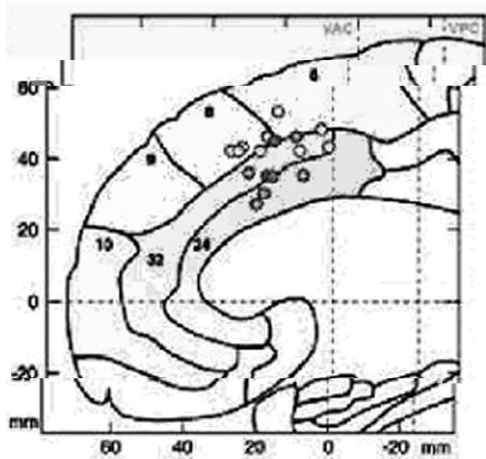


图 2 ACC 负责的不同功能在解剖上的分离(整理自 Ullsperger, 2004)。先前研究中与反应冲突(浅黄色)和错误加工(桔色)相关的额内区域激活的比较示意图。与冲突相关的激活的平均定位用深蓝色标识,与错误相关的活动的平均定位用红色标识。十字交叉处分别为前后联合。坐标点取自 Barch et al. (2001; 反应冲突), Braver et al. (2001; 反应冲突和错误加工), Carter et al. (1998, 2000; 皆为反应冲突), Caravan et al. (2002; 错误加工); Kiehl et al. (2000; 错误加工); Mac Donald 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)<sup>[6]</sup>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)<sup>[35]</sup>。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 cingulate 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 digit2location tasks*[J]. *Neuropsychologia*, 2003, 41: 1122 - 1135
- [10] Yeung N, botvinick M M, Cohen J D. *The neural basis of er2*

- 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 Zhenzhu<sup>1</sup>, ZHOU Xiaolin<sup>1,2</sup>

(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