

综述

认知控制基本功能的神经机制

陈安涛*

西南大学心理学部, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 认知控制是指根据任务目标调控具体心理过程的大脑功能, 构成了个体目标导向行为的基础。本研究团队多年来关注认知控制基本功能(监测、控制和转换)的神经机制, 在监测启动认知控制的时间过程及其机制, 控制的影响范围、新的控制机制、控制效率的脑网络基础, 转换的中枢脑区和动态神经编码等问题上取得了系列研究成果。本文对这些研究进展进行了综述, 并进一步提炼了相应的理论意义。今后需要加强认知控制基本功能的因果性研究, 开展认知控制功能表达研究和增强-迁移效应研究。

关键词: 认知控制; 监测; 控制; 转换; 事件相关电位; 功能性磁共振成像

中图分类号: Q427

Neural mechanisms of basic functions of cognitive control

CHEN An-Tao*

Faculty of Psychology, Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Cognitive control refers to the brain functions that regulate variously specific mental activities in terms of task goal, forming the basis of goal-guided behaviors. In the last decade, our team devoted to investigating the neural mechanisms of basic functions of cognitive control, i.e., monitoring, controlling, and switching. We published a series of papers on the temporal course of monitoring initiating cognitive control and its mechanisms, the influential scope of controlling and new controlling mechanisms, brain networks related to controlling efficiency, brain hubs and neural dynamic encoding of switching. This paper reviews the related studies and further extracts their theoretical significance. In the future, more attention should be paid on causal studies, studies on functional implementation of cognitive control, and transfer-application studies, by which we expect to deeply elucidate neural mechanisms of cognitive control.

Key words: cognitive control; monitoring; controlling; switching; event-related potentials (ERP); functional magnetic resonance imaging (fMRI)

认知活动非常复杂, 包括知觉、记忆、语言、决策、推理等过程, 而且常常受到情绪活动的影响。将复杂的认知与情绪活动加以统合, 使其指向特定目标的心理功能则是认知控制。可见, 认知控制在

目标导向 (goal-directed) 行为中扮演着关键作用。符合目标的行为对于正常的生活和工作极为重要, 因此认知控制是学界长期感兴趣的课题。本研究团队重点关注认知控制中监测、控制和转换三个功能。

Received 2018-04-29 Accepted 2018-07-16

Research from the corresponding author's laboratory was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (No. 61431013, 31771254) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. SWU1609106, SWU1709107).

*Corresponding author. Tel: +86-23-68367642; E-mail: xscat@swu.edu.cn

监测是对冲突、错误等异常情况加以侦测、评价,进而调用控制功能进行干预。控制是通过选择性注意等机制降低或消除来自分心信息的干扰,同时增强靶信息的加工和反应输出效率。转换是根据目标要求抑制旧的任务集(task-set),建构新的任务集并加以执行以完成新的任务要求。这三个功能是相互分离的并且各自具备独特特征的功能,而且就认知控制来说它们是不可再分的基本功能,但它们相互组合能够解释大多数认知控制现象。

在过去十余年里,我们围绕认知控制三个基本功能的神经机制开展了多项实验研究。方法上,我们运用行为、电生理、磁共振成像和弱电磁干预等技术手段,主要以健康人类被试为研究对象,采集他们完成实验任务时的行为和神经活动数据,以离线方式深入分析行为与脑激活、脑网络的关联,在行为表现与脑活动之间建立明确的相关性或因果性关系,力求阐明认知控制基本功能的神经机制。本文将对这些研究成果加以介绍,并结合来自其他实验室的结果和观点,总结取得的进展,分析并展望相关发展趋势。先介绍有关认知控制三个基本功能神经机制的研究,然后对当前研究重点和发展趋势做一定分析。

1 监测

认知控制是如何被启动的?研究者通过引入监测的概念来回答这一重要问题,并由此发展出冲突监测理论^[1],认为个体首先通过监测脑区(网络)觉察到冲突的出现,然后调用控制脑区(网络)实施控制。通过分析先前试次一致性(不一致、一致)对当前试次中控制效率的影响,研究者发现监测使用较多的试次会激活前扣带皮质(anterior cingulate cortex, ACC),而控制使用较多的试次会激活背外侧前额叶皮质(dorsal lateral prefrontal cortex, DLPFC),这些发现为冲突监测的存在及其与冲突控制的分离提供了证据^[2,3]。不过,有研究发现监测到冲突并不一定导致冲突适应效应的出现^[4-7]。这可能与冲突适应效应比较复杂有关:这种效应是由两个连续试次之间的交互效应决定的^[8]。如果在一个试次中连续地观察到监测和控制两个过程,将能为冲突监测理论提供更有力的支持。为此,我们设计了一个新任务(部分匹配分类任务),并结合高时间分辨率的事件相关电位(event-related potential, ERP)技术调查了这一问题,发现代表冲突监测的N2成分

出现在头皮中前部,而代表冲突解决的P3成分出现在头皮右前额部,这两个过程及其对应的神经激活转移在300 ms内即可完成^[9]。

错误是另一种典型的能够启动认知控制的信号^[10]。已有研究调查了大脑对错误的监测,发现错误监测表现在错误相关负电位(error-related negativity, ERN)成分上。一个重要但未解决的问题是ERN是否在意识水平上反映了错误的出现。我们的一项研究结果显示,错误的意识与非意识两个条件之间的比较,的确没有在传统的ERN波幅上产生效应。不过,theta频带能量在两个条件之间存在显著差异;进一步以theta频带(4-8 Hz)作为滤波范围,发现滤波后的theta-ERN波幅在两个条件之间出现了显著差异(待发表结果)。这些结果说明大脑在错误发生后100 ms左右即做出了某种与意识加工有关的反应。虽然监测到冲突和错误都能启动认知控制,但二者所启动的认知控制似乎性质不同:冲突监测引起的控制是任务特定的,而错误监测引起的控制却是任务一般的^[11]。这种差异可能是由冲突和错误产生的原因不同所致:冲突是明确地由分心信息引起的,但造成错误的原因通常较为复杂。在这种情况下,冲突引起的控制是特异化的(针对引发冲突的分心信息),而错误引起的控制则是一般性的(比如提高大脑警觉性)。提示监测在启动认知控制时使用了类似于刺激-反应映射的机制,但其详细机制还有待深入研究。

2 控制

概念上,控制是居于核心地位的认知控制基本功能。一般认为,控制功能是通过注意机制实现的:在识别出任务中靶信息与分心信息之后,大脑会投入注意资源增强靶信息加工,同时减少注意资源以抑制分心信息加工,即增强靶信息和抑制分心信息双管齐下的控制机制^[12]。我们的研究表明两种机制均存在类别限定:它们不仅会影响任务中出现过的靶刺激和分心刺激,还会影响与这些刺激属于同一类别但并未在实验中呈现过的刺激,但是,该类别之外的刺激均不受影响^[13]。说明大脑在实施控制时采用了一种既有选择性也能保持效率的机制,反映了控制机制具有高度智能化的特点。我们的一项待发表研究表明,当大脑对分心信息的加工达到自动化水平且相比靶信息具有加工优势时,认知控制会同时使用增强和抑制两种机制来实现控制;但当自

动化的分心信息相对靶信息处于加工劣势时，我们没有观察到大脑使用抑制机制的激活证据，此时控制可能主要通过增强机制来实现的（另见我们已经发表的文章^[15]）。我们认为这种分心信息是一种资源稀释，并非优势信息的干扰；相应地，对这类分心信息的控制是通过调整资源分配方向来实现的，而非直接抑制分心信息。

我们的研究还表明可能存在新的控制机制。当分心信息（如负性情绪面孔）能够被下丘脑在意识下监测到时，控制干扰的效果近乎于完美（几乎没有干扰效应出现）。意识下监测意味着大脑在极短时间内察觉冲突的出现，神经成像结果表明此时控制系统与刺激加工脑区有显著功能连接^[15]，提示控制可能通过对分心信息早期加工通道的干预，抑制甚至阻断分心信息的加工，从而大大提升控制分心干扰的效率。此外，典型的认知控制实验任务只考虑了靶信息和分心信息，但现实情境中存在大量既非靶也非分心的第三类信息。我们在保持第三类信息知觉属性不变的情况下，操纵其加工自动化，以及与靶/分心信息的加工重叠性，发现这两个变量均能显著影响来自分心信息的干扰^[16]。这些结果支持第三类信息与分心信息相互稀释的观点^[17]，不支持第三类信息消耗知觉加工资源的观点^[18]。我们认为个体会依据任务要求对靶信息加以选择和保护，从而使其避免受到第三类信息的影响；同时，个体会放任第三类信息与分心信息相互影响，如此可以削弱甚至消除来自分心信息的干扰，这正是符合任务要求的。该机制可概括为：多源噪音相比单一噪音，对完成目标任务的干扰较小。当然，需要更多的实验与理论研究以充分阐明这些控制机制。

在完成认知任务时，大脑为靶信息和分心信息分别建立起加工通道，当两个通道发生重叠时会出现冲突，此时需要使用认知控制解决冲突^[19]。既然训练可以改变加工通道联结强度^[20, 21]，我们相信调查训练对控制的影响及其神经关联将有助于阐明控制的神经机制^[22-24]。我们的研究表明，改变任务中信息加工通道的联结强度，能够显著地调节以扣带被盖网络（cingulo-opercular network, CON）为核心的、涉及视觉脑区和小脑的网络连接效率，并且网络连接效率改变与行为表现改善之间存在非线性关系^[25]。非线性关系可能更真实地反映了控制的神经机制：既反映了通道联结强度改变影响通道间重叠位置（以及相应的神经激活与功能连接），也

反映了控制脑区对加工通道的影响方式的变化。

3 转换

在日常生活和工作中，人们必须经常在不同任务（任务）之间进行转换。如果个体不能从先前任务中迅速地摆脱出来、并完成解决当前任务所需的认知准备，其行为将表现出呆板、机械、不灵活的特征，难以适应快速变化的环境。基于任务态的功能性磁共振成像（functional magnetic resonance imaging, fMRI）数据，我们采用生理心理交互分析（psychophysiological interaction, PPI）研究了任务转换的脑网络基础，发现两个基本的认知控制网络^[26]CON和额顶网络（fronto-parietal network, FPN）均被激活，并且左侧额下联合皮层（inferior frontal junction, IFJ）起着连接两个网络的作用，更重要的是，左侧IFJ与其它脑区的连接效率能够预测转换效率上的个体差异^[27]。由于认知控制网络主要包括CON和FPN，因此转换调用了大部分认知控制脑区及其网络^[26, 28]，说明相比监测和控制，转换是更为复杂且困难的认知控制功能。鉴于左侧IFJ在转换中起着关键作用，该脑区可成为因果性干预研究和脑功能增强研究的靶点。

转换在本质上是任务状态A切换到任务状态B的动态过程，但已有研究仅仅停留在静态地对比“转换”和“重复”两个条件的差异上。为了刻画转换的动态过程，我们采用类似于“多帧动画”的研究思路，将转换过程划分为更多的水平来加以研究，即重复执行一个任务会导致任务配置得到加强，我们推测会造成更深刻的神经编码表征^[29]。由此，从不同重复次数的先前任务到当前任务进行转换分析可以建构起多水平（难度不同）的“转换”过程。研究中我们利用多体素模式分析（multivoxel pattern analysis, MVPA）和表征相似性分析（representational similarity analysis, RSA）刻画了不同难度转换所对应的神经表征动态编码。结果显示重复试次比转换试次有更高的表征相似性，并且这种相似性的程度与行为指标显著相关：重复试次间高的相似性促进任务反应，而转换试次间高的相似性降低任务反应（见图1）。该研究采用表征相似性探索了任务集表征在试次内的转变，揭示了试次内从线索到目标阶段，转换试次中任务集的表征怎样远离上一个不相关的试次表征而更接近当前相关的试次表征，为研究转换功能的动态神经机制提供了新的研究思路和方法路径。

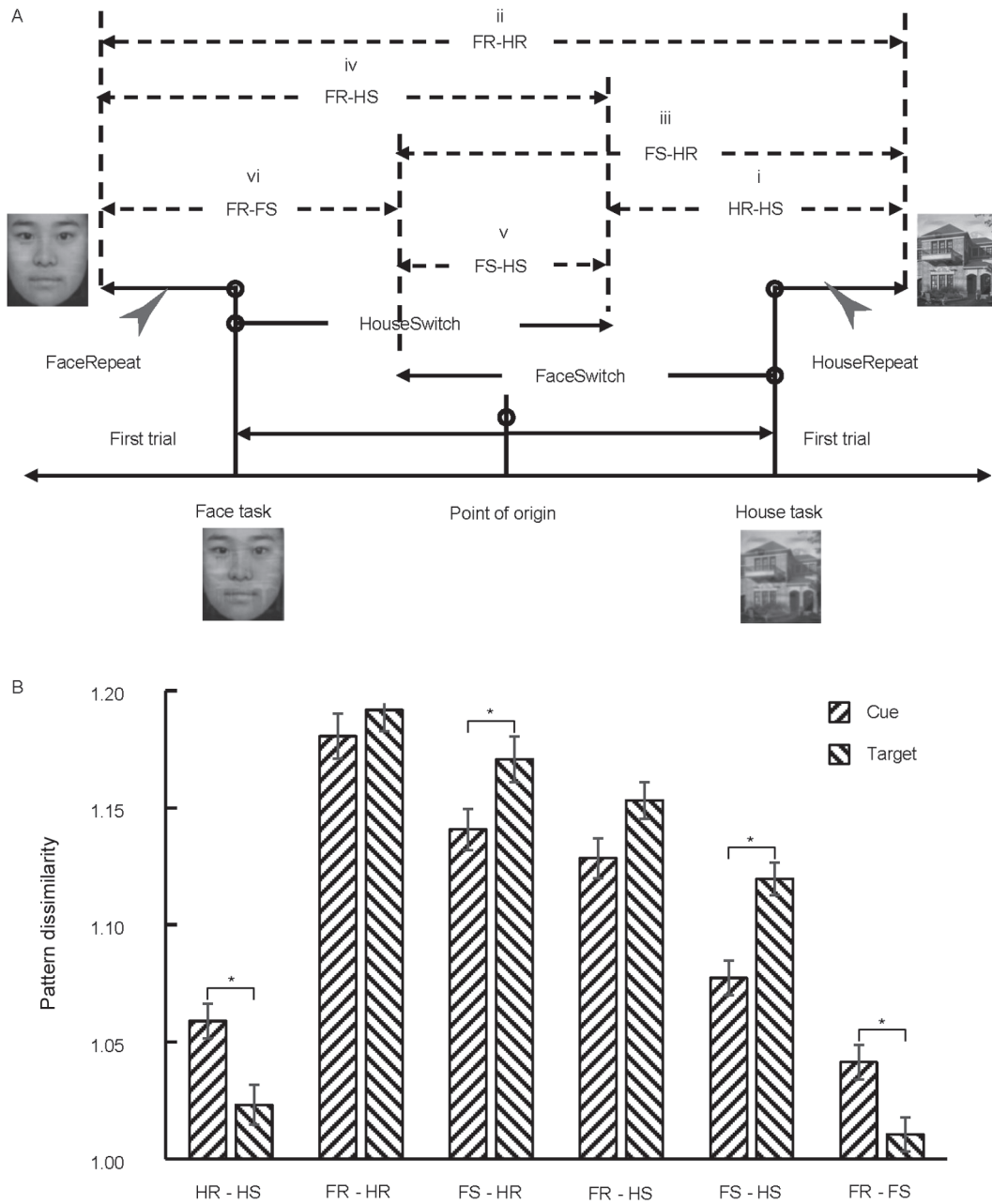


图 1. 任务转换功能的神经表征动态编码研究中的模型预测与实验结果(基于房子-面孔转换任务的fMRI数据, 以认知控制脑区为兴趣区所做的表征不相似性分析)

Fig. 1. Predicted and observed patterns in the study about the dynamic coding of neural representations during task switch (The fMRI data were collected while participants performed house-face switch task. The results revealed the representation dissimilarity analysis that was conducted with cognitive control brain areas as ROIs). *A*: Graphical depiction of the predicted pattern of neural representational dissimilarities (or distances) between the four possible trial types: FR, FS, HR, and HS. Displacement to the left or right along the horizontal axis from the point of origin reflects the adoption of an increasingly stable/reliable representation of the face task set or house task set, respectively. The assumed dissimilarities of neural patterns are reflected in the length of horizontal arrows between conditions, where a longer line represents greater neural pattern dissimilarity. Roman numerals are used to denote distances between different pairs of conditions. *B*: The observed mean neural pattern dissimilarities (mean ± SE), averaged across ROIs, are shown for the cue and target phase, respectively, for each condition pairing. HR-HS, house repeat-house switch distance (i); FR-HR, face repeat-house repeat distance (ii); FS-HR, face switch-house repeat distance (iii); FR-HS, face repeat-house switch distance (iv); FS-HS, face switch-house switch distance (v); FR-FS, face repeat-face switch distance (vi). ROIs: regions of interest. **P* < 0.05. Reproduced from Qiao *et al.*, 2017^[29].

4 展望

为了将认知控制神经机制的研究进一步推向深入,当前及今后几年内我们应注重开展认知控制的因果性研究、功能表达研究和迁移-应用研究。这里介绍本研究团队在这三方面取得的初步研究结果,在此基础上对未来发展做进一步的分析和展望。

首先,因果性证据比相关性证据更具有说服力,健康个体也是研究认知控制机制的最佳模型。但目前以健康个体为对象的研究所获得的结果通常是相关性证据,而因果性证据一般来自以病人和动物为模型的研究。近年发展出来的无创脑刺激干预技术,为在健康个体身上获得因果性数据提供了可能。因此,有必要以健康个体为对象开展认知控制神经机制的因果性研究,这将有助于更好地阐明认知控制的神经机制。认知神经研究通常包括静息态和任务态两种形式。静息态研究中行为与脑激活之间是典型的相关关系。虽然任务态研究可通过操纵实验条件影响脑激活,能够在行为与脑激活之间建立更具说服力的关系,不过任务态下的脑激活是伴随行为发生的现象。因此,无论是静息态还是任务态研究,都会出现难以确定行为的决定性神经基础的问题。而要确定行为的决定性神经基础需要因果性证据,比如损毁某个脑区即消除某行为。显然,对于健康人类被试无法使用损毁的方法寻找因果性证据。不过,近年来快速发展的弱电磁干预技术提供了安全无创地增强(或抑制)特定脑区功能的手段。我们的一项待发表研究结果表明,采用基于血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)信号的近红外实时神经反馈技术,训练被试提高其左侧 DLPFC 血氧信号,结果显著地提升了冲突适应任务中得分较低被试的行为表现,使低分组在实时反馈训练后的表现达到与高分组和对照组相当的水平。这些结果为冲突适应的个体差异神经基础提供了因果性证据,对于阐明冲突适应的一般性神经基础也有潜在意义。在另一项待发表研究中,我们通过分别对右侧 DLPFC 施加经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)的阳极和阴极干预,显著地调控了个体的公平感判断,为公平感判断与右侧 DLPFC 之间的因果性联系提供了证据。

其次,已有研究通常在靶信息与分心信息之间引发冲突,以针对认知控制开展“专门的”、“纯净的”研究。不过,认知控制并不负责具体信息的加工,

而只是在信息加工中出现冲突时才介入。因此,孤立地研究认知控制无法完整地说明认知控制是如何实现其功能的。我们将认知控制如何实现其功能的问题概括为认知控制的功能表达。这一问题反映了认知控制如何在各种(引发目标导向行为的)具体任务中表达其监测、控制和转换等功能,对它的研究既能加深对认知控制基本机制的理解,也能促进理论研究与应用研究的结合。最近,基于被试在完成典型且明显不同的认知控制任务(即 Stroop 色词任务和 Flanker 箭头任务)时记录到的 fMRI 数据,我们采用功能不对称分析(functional asymmetrical analysis)调查了认知控制脑网络在不同类型冲突任务中的功能表达问题。结果表明,当任务中的刺激加工主要涉及左半球时(Stroop 色词任务中语义加工),控制网络主要由左侧 DLPFC 与刺激加工脑区发生相互作用。当任务中刺激加工主要涉及右半球时(箭头 Flanker 任务中视觉信息加工),控制网络主要由右侧 DLPFC 与刺激加工脑区发生相互作用^[30]。因此可以得出的初步结论是,认知控制在表达其功能时似乎遵循“就近高效”原则。当然,认知控制功能更多情况下表现在各种非认知控制任务中。近期,我们研究了语言经验影响噪音再认的问题,发现 FPN 和默认网络(default mode network, DMN)对噪音识别的作用受到语言(音)经验的调节并表现出语言熟悉性的差异,即 FPN 到噪音识别网络(voice-identity network, VIN)作为语言熟悉性的功能,自上而下调节该认知活动中的控制信号;而 DMN 到 VIN 的功能耦合则表明 DMN 能主动编码和检索说话人特异性的信息来实现噪音辨别。更重要地是,这两个有向网络间的功能连接则明显表征了语音经验的梯度变化^[31]。因此,随着语言不熟悉的增加,听者则会倾向于对噪音刺激的声学特征进行编码加工,并调用更多的认知控制资源来完成噪音辨别。

第三,虽然被认为在实践领域(如临床、教育)应该有重要应用价值,但到目前为止,认知控制的理论研究成果仍然鲜有成功应用的例子。我们认为,这种情况同样与认知控制不负责具体信息加工有关,而要取得突破需要尝试新的研究思路。既然认知控制的应用只能表现在它的“外推”效应上,那么通过提升认知控制功能来影响(改善)其它负责具体信息加工的心理功能,如此将能彰显认知控制的应用价值,这一新思路有望为认知控制的应用研

究打开新局面。在一项待发表研究中, 我们通过训练执行注意, 显著地提升了被试的一般能力(或流体智力)。这一结果说明通过选择恰当的认知控制成分加以训练, 将产生显著的远迁移效应。因此, 上述有关认知控制应用研究的新思路具有较高可行性。

5 结语

基于理论认识的深入, 研究范式的改进和创新, 特别是认知神经科学新技术手段的运用, 本研究团队在认知控制基本功能(监测、控制和转换)的神经机制方面取得了一些创新成果。(1) 监测功能在冲突发生后 300 ms 内即可完成对认知控制的启动, 监测功能会根据事件性质(冲突、错误)决定启动何种认知控制。(2) 控制功能对刺激加工的影响是以刺激类别为边界的, 使得控制既有选择性也具有高效率; 传统意义上的控制功能(增强/抑制)只在干扰来自优势分心信息时使用, 而当干扰来自劣势分心信息时控制是通过资源调配来实现的; 认知控制网络连接效率与控制的行为效率之间存在非线性关系, 提示控制效率既受到控制网络连接效率的影响, 也受到刺激-反应加工通道的联结强度的影响。(3) 转换的个体差异可由左侧 IFJ 与控制网络的连接效率加以预测; 通过对比控制脑区神经激活相似性与任务转换难度之间的关系, 描述了转换的神经表征动态编码过程, 为动态刻画转换的神经加工过程提供了有力证据。今后计划开展认知控制的因果性研究、功能表达研究以及迁移-应用研究, 以期更为深入系统地阐明认知控制的神经机制。

参考文献

- 1 Botvinick MM, Braver TS, Barch DM, Carter CS, Cohen JD. Conflict monitoring and cognitive control. *Psychol Rev* 2001; 3: 624–652.
- 2 Botvinick MM, Cohen JD, Carter CS. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends Cogn Sci* 2004; 12: 539–546.
- 3 Kerns JG, Cohen JD, MacDonald AW 3rd, Cho RY, Stenger VA, Carter CS. Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science* 2004; 5660: 1023–1026.
- 4 Liu P, Yang W, Chen J, Huang X, Chen A. Alertness modulates conflict adaptation and feature integration in an opposite way. *PLoS One* 2013; 11: e79146.
- 5 Wang T, Chen Z, Zhao G, Hitchman G, Liu C, Zhao X, Liu Y, Chen A. Linking inter-individual differences in the conflict adaptation effect to spontaneous brain activity. *Neuroimage* 2014; 90: 146–152.
- 6 Egner T. Right ventrolateral prefrontal cortex mediates individual differences in conflict-driven cognitive control. *J Cogn Neurosci* 2011; 12: 3903–3913.
- 7 Wang X, Zhao X, Xue G, Chen A. Alertness function of thalamus in conflict adaptation. *Neuroimage* 2016; 132: 274–282.
- 8 Gratton G, Coles MG, Donchin E. Optimizing the use of information: strategic control of activation of responses. *J Exp Psychol Gen* 1992; 4: 480–506.
- 9 Chen A, Xu P, Wang Q, Luo Y, Yuan J, Yao D, Li H. The timing of cognitive control in partially incongruent categorization. *Hum Brain Map* 2008; 9: 1028–1039.
- 10 Yeung N, Botvinick MM, Cohen JD. The neural basis of error detection: conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychol Rev* 2004; 4: 931–959.
- 11 Wang LJ (王丽君), Liu CP, Hu XP, Chen AT. The alertness level influences post-error adjustments. *Chin Sci Bull (科学通报)* 2016; 61: 3708–3717 (in Chinese with English abstract).
- 12 Polk TA, Drake RM, Jonides JJ, Smith MR, Smith EE. Attention enhances the neural processing of relevant features and suppresses the processing of irrelevant features in humans: a functional magnetic resonance imaging study of the Stroop task. *J Neurosci* 2008; 51: 13786–13792.
- 13 Zhang L, Ding C, Li H, Zhang Q, Chen A. The influence of attentional control on stimulus processing is category specific in Stroop tasks. *Psychol Res* 2013; 5: 599–610.
- 14 Kahneman D, Chajczyk D. Tests of the automaticity of reading: dilution of stroop effects by color-irrelevant stimuli. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1983; 4: 497–509.
- 15 Yang Q, Wang X, Yin S, Zhao X, Tan J, Chen A. Improved emotional conflict control triggered by the processing priority of negative emotion. *Sci Rep* 2016; 6: 24302; DOI: 10.1038/srep24302.
- 16 Tan J, Yin S, Wang L, Chen A, Egner T. Processing overlap-dependent distractor dilution rather than perceptual target load determines attentional selectivity. *Atten Percept Psychophys* 2018; doi: 10.3758/s13414-018-1545-4.
- 17 Tsal Y, Benoni H. Diluting the burden of load: perceptual load effects are simply dilution effects. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2010; 36: 1645–1656.
- 18 Lavie N, Tsal Y. Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Percept Psychophys* 1994; 2: 183–197.
- 19 Kornblum S, Hasbroucq T, Osman A. Dimensional overlap: cognitive basis for stimulus-response compatibility—a model and taxonomy. *Psychol Rev* 1990; 2: 253–270.

- 20 Macleod CM. Training on integrated versus separated stroop tasks: the progression of interference and facilitation. *Mem Cognit* 1998; 2: 201–211.
- 21 Cohen J, Dunbar K, McClelland J. On the control of automatic processes: a parallel distributed processing account of the Stroop effect. *Psychol Rev* 1990; 3: 332–361.
- 22 Chen Z, Lei X, Ding C, Li H, Chen A. The neural mechanisms of semantic and response conflicts: an fMRI study of practice-related effects in the Stroop task. *Neuroimage* 2013; 66: 577–584.
- 23 Chen A, Tang D, Chen X. Training reveals the sources of stroop and flanker interference effects. *PLoS One* 2013; 10: e76580.
- 24 Chen XF (陈雪飞), Jiang J, Zhao X, Chen A. Effect of practice on semantic conflict in the Stroop task. *Psychol Sci (心理学)* 2010; 4: 869–871 (in Chinese with English abstract).
- 25 Hu M, Wang X, Zhang W, Hu X, Chen A. Neural interactions mediating conflict control and its training-induced plasticity. *Neuroimage* 2017; 163: 390–397.
- 26 Power JD, Petersen SE. Control-related systems in the human brain. *Curr Opin Neurobiol* 2013; 2: 223–228.
- 27 Yin S, Deák G, Chen A. Coactivation of cognitive control networks during task switching. *Neuropsychology* 2018; 32(1): 31–39.
- 28 Bressler SL, Menon V. Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends Cogn Sci* 2010; 6: 277–290.
- 29 Qiao L, Zhang L, Chen A, Egnér T. Dynamic trial-by-trial recoding of task-set representations in the frontoparietal cortex mediates behavioral flexibility. *J Neurosci* 2017; 45: 11037–11050.
- 30 Chen Z, Zhao X, Fan J, Chen A. Functional cerebral asymmetry analyses reveal how the control system implements its flexibility. *Hum Brain Mapp* 2018; doi: 10.1002/hbm.24313.
- 31 Hu X, Wang X, Gu Y, Luo P, Yin S, Wang L, Fu C, Qiao L, Du Y, Chen A. Phonological experience modulates voice discrimination: evidence from functional brain networks analysis. *Brain Lang* 2017; 173: 67–75.