论文

视听跨通道干扰抑制: 儿童 ERP 研究

王益文^{①②}, 林崇德^{③*}, 高艳霞^②, 王钰^①, 张文新^{②*}^① 天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300074;^② 山东师范大学心理学院, 济南 250014; XXZZ^③ 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875* 联系人, E-mail: linchongde.263.net; zhangwenxin@sdnu.edu

收稿日期: 2009-09-25; 接受日期: 2009-12-15

国家自然科学基金(批准号: 30700238, 30807780)项目资助

摘要 为探查视听跨通道干扰抑制的认知神经机制的横断年龄特性, 记录分析了 14 名 10 岁儿童视听词汇干扰任务时的事件相关电位. 在不一致条件下, 被试需要对同范畴听觉干扰词进行抑制, 一致条件则没有干扰抑制. 结果发现, 不一致条件的反应时显著长于一致条件. 不一致条件下 P200 的波幅显著大于一致条件, 可能揭示了对探测刺激和干扰刺激在知觉上的差异. N300 和 N550 主要分布于额叶区域, 不一致条件的波幅均显著大于一致条件. N300 可能反映了认知冲突监测, N550 可能反映了对干扰刺激的抑制, 这为儿童抑制发展脑机制提供了童年特定阶段的初步证据.

关键词视听跨通道
抑制
干扰
事件相关电位

抑制(inhibition)在心理学中被定义为个体的一种主动压抑的加工过程, 是把与任务无关的信息从工作记忆中排除出去^[1]. 抑制是额叶执行功能的重要组成部分, 与社会认知和心理理论推理有关^[2,3]. 干扰抑制(interference inhibition)是抑制加工的主要类型之一, 它觉察干扰信息, 为解决干扰而进行有效的抑制加工. Stroop任务中被试在一致(congruent)条件(如红色的“红”)、不一致(incongruent)条件(如绿色的“红”)和中性条件(如红色的“XXX”)下, 命名单词的颜色时受到词汇语义的干扰^[4]. Stroop任务是研究干扰抑制的主要方法之一. Mager等人^[5]采用事件相关电位(ERP)研究 30 和 50 岁年龄组成人完成 Stroop 任务时发现, 在 350~650 ms 刺激干扰诱发了一个明显的负成分, 随着年龄增长该负波的波幅和潜伏期增大. Markela-Lerenc 等人^[6]采用 Stroop 任务研究发现, 颜

色词与词义不一致条件在 350~450 ms 时间段内比一致条件诱发一个更负的波. 随后在 450~550 ms 内, 不一致条件比一致条件诱发一个更正的波. 实验材料可能影响 Stroop 干扰效应, 这可能表现在加工时程上. 对汉字 Stroop 任务的研究发现^[7], 与一致条件相比, 不一致条件在刺激呈现后的 350~550 ms 时间段内在额中区表现出了一个更大的负波, 揭示了汉字与英文的 Stroop 干扰效应有一个不同的时间模式. 刘和刘^[8]采用中文 Stroop 任务发现, 颜色判断 ERP 的差异主要出现在 300~500 ms 之间, P330~390 的潜伏期表现出了 Stroop 效应. 陈小异等人^[9]发现, 中英文 Stroop 材料都存在反应时的 Stroop 干扰效应, 汉字的干扰效应明显强于英文, 结果表明语言类型会影响 Stroop 干扰效应的脑内加工时程.

上述研究均是针对成人的研究, 那么儿童抑制

英文版见: Wang Y W, Lin C D, Gao Y X, et al. Neural correlates of audio-visual modal interference inhibition investigated children by ERP. Sci China Life Sci, 2010, 53, doi: 10.1007/s11427-010-0077-5

干扰的年龄特性如何呢? Macleod^[10]回顾了半个多世纪的Stroop研究, 总结出18个主要的研究结果。他指出Stroop干扰受被试年龄的影响, Stroop干扰在小学低年级时就已出现, 大约在二、三年级之间达到最高水平。随着阅读能力的继续发展, 成年时期干扰逐年下降。直到接近 60 岁, 此时干扰又重新升高。Hanauera和Brooks^[11]采用图-词干扰任务研究发现, 呈现同范畴的听觉词时儿童命名图片有明显的干扰效应, 但在成人中未发现。当呈现的分心刺激与图片不是相同范畴时, 成人比儿童更易受干扰。这说明干扰效应存在年龄阶段的特征差异。

对于干扰效应的研究一般都局限于视觉通道信息, 而探讨视觉听觉跨通道信息加工中干扰现象的研究证据尤为不足。研究跨通道信息干扰最常用的范式之一是图-词干扰任务, 主要探讨词汇和图片两类信息之间的相互作用。其中词的呈现方式又有听觉与视觉两种, 实验材料由配对的图-词组成。其中一个是要求被试反应的目标刺激, 另一个是要求被试忽视的分心刺激。已有研究表明^[12,13], 当干扰词与图片来自不同语义范畴时, 图片命名反应时较短。当干扰词与图片来自相同语义范畴时, 图片命名反应时较长, 语义关联的干扰词干扰作用大于语义无关的干扰词。

事件相关电位技术具有无创伤性和高时间分辨率等特点, 被用于研究儿童心理发展的脑机制^[14,15]。抑制能力是儿童认知发展的重要内容和关键指标, 抑制加工的年龄特性和加工时程是怎样的? 视听跨通道干扰模式的认知神经机制如何? 本研究拟比较儿童进行视听跨通道呈现的词汇干扰任务中, 词汇再认判断时一致条件(探测词与视觉目标词相同)与不一致条件(探测词与视觉目标词不同, 与听觉干扰词相同)的ERP。研究假设不一致条件诱发的ERP成分大于一致条件, 从而探讨同范畴听觉词对被试在探测阶段再认视觉目标词时的干扰抑制。意在揭示儿童抑制视听跨通道信息干扰的脑内加工时程, 初步提供其在特定年龄阶段干扰抑制的横断特性。

1 方法

1.1 被试

被试为来自城市小学四年级的 14 名儿童, 男 8

名, 女 6 名, 年龄在 10~11 岁之间, 平均年龄是(10.2±0.4) 岁。被试均为右利手, 身体健康无精神系统疾病, 无脑部损伤史, 视力正常或矫正后正常, 听力正常。实验前均得到儿童监护人同意, 实验结束后给予少量报酬。

1.2 刺激材料

实验材料共含有 120 对双字词, 在人民教育出版社 2004 年版小学语文课本 1~8 册范围内, 均属于《现代汉语频率词典》^[16]中的常用词。视觉呈现刺激、听觉呈现刺激及探测刺激的词频的平均数和标准误差表 1, 词频不存在显著差异, $F_{(2,359)}=1.315$, $P=0.270$ 。每对双字词均是同范畴词语关系, 如“面包-蛋糕”, 其中“面包”以视觉形式呈现, “蛋糕”以听觉形式呈现, 探测刺激是“面包”或“蛋糕”, 以视觉形式呈现。

表 1 同范畴视觉与听觉的词语材料匹配指标

刺激	词语数	词频(每百万)
视觉目标词	120	25.16±2.18
听觉干扰词	120	20.77±1.69
探测刺激	120	22.28±1.94
合计	360	22.73±1.12

视觉刺激以黑底白字呈现在计算机屏幕中央, 宋体 42 号。听觉刺激由普通话标准的女音朗读, 用 Cool Edit 2.1 录制处理为立体声 wav 格式, 大小为 -15 dB。语音采样精度是 44.1 kHz/s, 比特率为 16 比特。视听刺激均通过一台便携式电脑呈现。

1.3 实验程序

采用视听跨通道干扰任务, 刺激呈现时间见图 1。首先在屏幕中央呈现十字注视点(fixation)500 ms; 然后在屏幕呈现一个视觉目标词要求被试注意并记忆, 同时电脑中呈现一个与视觉词同范畴的听觉干扰词并要求被试忽略, 呈现时间均为 1000 ms, 此后为 400~600 ms 间随机变化的 ISI, 最小变化单位为 1 ms, 平均为 500 ms; 然后呈现探测词语 1500 ms, 要求被试判断“该词是否是要求注意并记忆的词语”。如果探测词与视觉目标词相同(即一致条件, 无干扰)就按鼠标左键, 如果探测词与视觉目标词不同, 而与听觉干扰词相同(即不一致条件, 有干扰)就按鼠标右键。被试用右手进行按键反应, 左右键顺序进行被试间

平衡.

实验运用 Stim2 软件编程. 一致和不一致条件分别包含随机排列的 60 组刺激序列, 序列间 ITI 在 400~600 ms 间随机变化, 最小变化单位为 1 ms, 平均为 500 ms. 在正式实验开始前, 被试进行相同设计的 20 组单元序列练习以熟悉实验程序. 为了避免重复再认效应, 正式实验与练习实验的刺激材料不同.

1.4 脑电记录与数据处理

使用 NeuroScan 公司 NuAmps 便携式 ERP 记录与分析系统, 按国际 10~20 系统扩展的 40 导电极帽记录 EEG. 以前额接地、双侧乳突为参考点, 双眼外侧安置电极纪录水平眼电(HEOG), 左眼上下安置垂直眼电(VEOG). 头皮阻抗小于 5 k Ω , 滤波带通为 DC-100 Hz, 采样率(A/D Rate)为 1000 Hz/导.

完成连续记录 EEG 后离线(off-line)处理数据, 用 Neuroscan4.3 软件进行 DC 校正(DC Offset Correction), 校正 VEOG 和 HEOG, 并充分排除其他伪迹. 波幅超过 $\pm 100 \mu\text{V}$ 者被视为伪迹而自动剔除. 本研究对探测反应阶段脑电数据进行分析, 并根据反应结果对反应正确的 EEG 进行叠加. ERP 数据的分析时程(epoch)是探测刺激后 1500 ms, 基线是在探测刺激前 200 ms. 本研究主要分析头皮中前部诱发的 P1, N2 和 N3, 其波峰较为明显, 所以测其峰波幅(peak amplitude). P1 波峰的测量区间为 150~250 ms(P200), N2 的测量区间为 250~350 ms(N300), N3 的测量区间为 500~600 ms(N550). 根据已有研究与本研究目的,

选取 9 个电极点(Fz/F3/F4, FCz/FC3/FC4 和 Cz/C3/C4), 进行 2(任务: 一致条件 vs 不一致条件) $\times$ 3(半球: 左半球、中线、右半球) $\times$ 3(电极点: 额部、额中部、中央部)的三因素重复测量方差分析. 方差分析的 P 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正.

2 结果

2.1 行为数据

一致条件和不一致条件的正确率和反应时见表 2. 配对 t 检验发现, 两种任务的反应时差异极其显著, $t=-5.166$, $P<0.001$, 不一致条件的反应时显著长于一致条件. 不一致条件和一致条件的正确率不存在显著差异.

2.2 ERP 分析

探测反应阶段在头发额中部诱发的 ERP 总波形见图 2 和 3. 一致条件和不一致条件均在探测刺激呈现 200, 300 和 550 ms 左右诱发了明显的 ERP 成分, 命名为 P200, N300 和 N550. 探测刺激呈现 600 ms 之后至 900 ms 左右的正慢波的潜伏期与行为反应时基本一致, 可能与反应选择与执行有关.

(1) P200. 对 P200 的波幅进行三因素重复测量的方差分析发现, 其任务的主效应显著, $F_{(1,13)}=8.775$, $P<0.05$, 不一致条件的波幅($13.235\pm 1.963 \mu\text{V}$)显著大于一致条件的波幅($10.469\pm 2.194 \mu\text{V}$); 半球和电极的主效应均不显著, $F_s=3.484/0.966$, $P>0.05$. 在交

图 1 视听跨通道干扰任务的实验流程

表 2 两种任务条件的正确率和反应时

	正确率(%)	反应时(ms)
不一致条件	94.17±6.59	788.30±154.43
一致条件	96.79±3.59	685.01±156.76

交互作用中, 任务×半球×电极三者的交互作用显著, $F_{(4,52)}=3.904$, $P<0.05$, 不一致条件中线脑区的CZ点波峰值最大(14.647 ± 2.080 μV), 其余的交互作用均不显著. 对P200 的潜伏期进行方差分析发现, 电极的主效应显著, $F_{(2,26)}=6.825$, $P<0.05$, C3/C4 的潜伏期最大(214.119 ± 4.779 ms), 显著大于F3/F4, FC3/FC4, $P<0.05$. 任务×半球的主效应显著, $F_{(2,28)}=6.062$, $P<0.05$. 一致条件下, 潜伏期由大到小分别为左半球、中线、右半球, 不一致条件下, 由大到小分别为右半球、左半球、中线. 其余因素的主效应以及交互作用均不显著.

(2) N300. 对N300 的波幅进行三因素重复测量

的方差分析发现, 任务、半球和电极的主效应均显著, $F_s=12.917/4.636/38.398$, $P<0.01$. 具体表现为不一致条件的波幅(-4.850 ± 1.896 μV)显著负向大于一致条件的波幅(1.278 ± 2.440 μV); 中线位置上波幅(-2.781 ± 2.137 μV)显著负向大于左半球(-1.691 ± 1.989 μV)和右半球波幅(-0.886 ± 2.003 μV), 且中线与右半球差异显著, $P<0.05$; F3/F4 的波幅(-4.598 ± 1.912 μV)负向最大, 其次依次为FC3/FC4, C3/C4, 且两两之间差异显著, $P<0.05$; 三因素的所有交互作用均不显著. 对N300 的潜伏期进行方差分析发现, 任务的主效应显著, $F_{(1,13)}=9.810$, $P<0.008$, 不一致条件的潜伏期(326.468 ± 4.825 ms)显著长于一致条件(302.929 ± 6.999 ms), 任务×电极的交互作用显著, 不一致条件下, 潜伏期由大到小分别为C3/C3, FC3/FC4, F3/F4, 一致条件下由大到小分别为F3/F4, FC3/FC4, C3/C3, 其他因素的主效应及交互作用均不显著.

图 2 一致与不一致条件的 ERP 总平均图

横坐标: 刺激呈现时间, 单位: ms; 纵坐标: ERP 波幅

(3) N550. 对N550 的波幅进行三因素重复测量的方差分析发现, 其任务的主效应极其显著, $F_{(1,13)}=10.531$, $P<0.01$, 具体表现为不一致条件的波幅 $(-1.812\pm1.580) \mu\text{V}$ 显著负向大于一致条件的波幅 $(3.451\pm2.301) \mu\text{V}$. 电极主效应极其显著, $F_{(2,26)}=166.217$, $P<0.001$, 波幅负向计量由大到小依次出现在F3/F4 $(-3.838\pm1.757) \mu\text{V}$, FC3/FC4 $(0.804\pm1.844) \mu\text{V}$, C3/C4 $(5.492\pm1.867) \mu\text{V}$, 且两两之间差异显著, $P<0.05$. 半球的主效应以及三因素的交互作用均不显著. N550 的潜伏期不存在显著差异.

2.3 地形图

一致条件和不一致条件所诱发的 ERP 波形在刺激后 200 ms 就出现差异, 这不仅表现在 P200 的波幅上, 其地形图分析也同样发现两种条件下大脑头皮激活强度的差异, 如图 3 所示. 从图上可以看出, P200 在 200 ms 左右, 与一致条件相比, 不一致条件除双侧颞区处于抑制状态外, 头皮其他脑区均处于更强的激活状态. 在 300 ms 左右, 与一致条件相比, 不一致条件 N300 的头皮前部包括额中区和部分顶区均处于抑制状态, 且额叶的抑制程度更强. 在 550 ms

左右, 与一致条件相比, 不一致条件 N550 的头皮前部抑制范围更大, 额中区处于更为明显的抑制状态.

3 讨论

3.1 P200 与知觉探测刺激

本研究主要探讨儿童对视听干扰进行抑制的动态加工过程, 为此比较了探测词与目标词一致和不一致两种条件下脑电活动的差异. 不一致条件有干扰, 需要抑制加工. 在探测刺激呈现后约 200 ms, 一致条件的 P200 波幅显著小于不一致条件的 P200, 这说明在刺激呈现的早期阶段, 个体可能初步觉察了探测刺激与听觉干扰词和视觉目标词的一致性差异. 与一致条件相比, 在不一致条件下, 被试在辨别探测刺激时受到干扰刺激的影响, 脑电活动更强.

本研究行为数据表明, 不一致条件的反应时显著大于一致条件, 这反映了明显的干扰效应. 本研究中的干扰刺激和目标刺激属于同范畴, 儿童在进行反应时的干扰效应会大. 已有的图-词干扰任务研究也表明当干扰词与图片来自相同语义范畴时, 图片命名反应时较长, 即所谓的语义干扰效应. 杨丽霞^[17]

图3 一致与不一致条件的 P200, N300 及 N550 的地形图

发现抑制机制的效率受到干扰材料与目标材料的语义关系性的影响, 与目标材料语义关系越密切的干扰材料越难被抑制。关于这点, 可以用激活扩散模型来解释, 本实验的干扰材料与目标材料属于同一范畴, 其概念网络或命题网络有更多的联系, 在语义空间中距离较近, 也更容易被激活, 因而在加工目标材料的过程中, 干扰刺激更容易被激活且难以被抑制^[18]。相对范畴水平说则认为^[19], 决定语义效应及效应大小的关键因素是干扰词与目标词汇之间的相对范畴水平: 如果二者所表征概念处在同一范畴的相同水平, 则产生语义干扰; 如果二者处在同一范畴的不同水平, 则产生语义促进。所以, 实验结果也可以从相对范畴水平说得到解释。

从地形图上看, 一致条件诱发的脑电主要分布于额中央区, 而不一致条件分布范围更大, 除了额中央区外还更多分布于顶枕区。由此可见, 被试在分辨干扰刺激时需要激活更多的脑区, 尤其是顶枕区。这说明在不一致条件下, 被试更需要把注意力集中在与任务相关的信息特征上, 抑制无关信息的干扰, 因此需要更多的认知资源。不一致条件下儿童激活顶枕区主要是进行刺激辨别并对刺激进行基本的处理, 以达到认知控制的最佳化^[20]。

3.2 视听跨通道干扰抑制的时间过程

本研究发现, 不一致条件需要抑制同范畴的听觉干扰信息, 诱发了明显的 ERP 负成分 N300 和 N550, 主要分布于额叶区域, 其波幅由前额叶向中央区逐渐减小。不一致条件的波幅显著大于一致条件。从 N300 和 N550 地形图看, 不一致条件产生了额中区的负性活动模式, 表明额叶处于抑制状态, 而头皮后部区域处于激活状态, 且顶枕区激活程度更强; 与一致条件相比, 不一致条件头皮前部的抑制范围更大, 包括了额区、中央区及顶叶区域。随着时间的推进, 从 N300 到 N550, 不一致条件头皮前部的抑制范围逐渐变小, 后部区域的激活逐渐增强。这说明 N300 和 N550 可能是额叶区域抑制干扰信息的 ERP 指标。头皮后部持续的激活状态可能反映了儿童的前额叶发育状态, 儿童也需要头皮后部脑区的参与来辨别分析和抵抗干扰效应。在成人的干扰效应研究中, 抵制干扰效应主要是额区的功能。Markela-Lerenc 等人^[6]的 Stroop 任务研究发现, 不一致条件在 350~450 ms 比一致条件诱发一个更负的波, 其发生

源主要位于左侧前额叶; 随后在 450~550 ms, 不一致条件比一致条件诱发一个更正的波, 其发生源位于扣带回。Qiu 等人^[21]研究了成人被试在进行汉字 Stroop 任务时的事件相关电位, 结果发现, 与一致条件相比, 不一致条件在刺激呈现后的 350~550 ms 时间段内在额-中央区的脑区表现出了一个更大的负波, 且不一致减一致条件所得差异波的偶极子源定位分析表明, 干扰效应在前额叶有更广泛的分布。陈等人^[9]研究了中英文 Stroop 干扰效应的脑内时程的动态变化, 结果发现, 汉字的干扰效应明显强于英文, 且中文 Stroop 干扰效应表现为在 350~550 ms 内, 不一致条件比一致条件诱发一个更负的 ERP 成分 (N450) 并主要分布于额中部电极。在对中文 Stroop 研究中, 发现了 N450 这个成分^[9], 认为其与认知冲突和竞争反应的选择有关。

本研究中 250~350 ms 额中央区的 N300 成分可能反映了认知监测。Jonkman^[21]对成人和儿童的 N300 进行偶极子源分析发现, 均定位于内侧额叶 (ACC 附近) 的两侧, 此外儿童还需要一个额外的后部源定位, 6/7 岁儿童的后部源定位于枕-颞区, 9/10 岁儿童后部源定位于顶叶。本研究 500~600 ms 时间窗口内的 N550 成分可能反映了对干扰刺激的抑制, 并可能与语义激活有关^[22]。本实验室已有研究发现, 包含抑制成分的错误信念任务诱发 ERP 晚期负成分, 偶极子源分析发现定位于扣带回皮层^[21]。本研究所采用的实验任务由图-词干扰任务演化而来, 且实验材料是中文字词, 以及被试是儿童, 因而主要与中文 Stroop 研究进行对比。彭聘龄^[23]发现, 小学六年级儿童判断颜色与语义不一致汉字引发的 P300 和 400 ms 后慢波的波幅比一致条件大。这种不一致条件大于一致条件的差异与本研究的发现一致, 但所发现的有关 ERP 成分的极性不同, 本研究为负成分, 而他们发现的差异主要是正成分。这可能与本研究采用的词汇干扰任务在探测反应阶段与 Stroop 任务的差异有关, 可能还涉及到跨通道方面。Rebai 等人^[24]研究发现, Stroop 任务诱发了 ERP 负波 N400。本研究与已有 Stroop 研究即有相似结果又有区别, 但这还需进一步研究证实。本研究没有比较不同年龄组儿童间的发展变化, 这需要下一步补充完善。刘和刘^[25]以青少年为被试进行了有益的探索, 比较了初中生、高中生和大学生在完成中文 Stroop 任务时不一致条件减一致

条件所得的差异波,发现初中生的P3 比高中生和大学生更为正走向,大学生、高中生和初中生的头皮分布呈现出不同的特征. Jongen和Jonkman^[26]对 6~7, 8~9, 10~12 岁组儿童和成人组进行Stroop任务时的ERP研究发现,刺激干扰控制虽然在 6~7 岁儿童达到相对成熟的水平,但在反应干扰控制上,10~12 岁青少年仍然比成人更易受错误反应的干扰.

从地形图上可以看出,儿童在抑制同范畴视觉和听觉跨通道信息的干扰时,300 ms左右时开始ERP负成分主要分布于额叶区域、中央区及部分顶叶区域,后来到 500 ms左右,顶叶区域负成分消失,额中区仍然持续.成人在抑制干扰时主要是前额叶和前扣带回参与,而儿童开始还有顶叶区域参与,后来才逐渐消失,这说明了儿童抑制干扰信息时除额叶外还需

要顶叶皮层的协助和补偿,在面对干扰时需要头皮后部脑区参与抵制干扰. Bunge等人^[27]在一项事件相关fMRI研究中指出,8~12 岁的儿童在进行有效的抑制加工时,会激活后部脑区,具体包括双侧顶叶、双侧中央颞叶和双侧枕叶皮层.儿童为了补偿包括前额叶在内的未成熟的更高执行加工网络,而恢复较低的处理系统.顶叶皮层被用来进行学习刺激-反应联结,而枕-颞叶皮层则进行更基本的加工,比如刺激辨别.年龄较大的儿童激活刺激-反应联结是为了检测反应是否合适,而较小的儿童则对刺激进行基本的处理,以达到认知控制的最佳化(冲突监测或反应抑制)^[20].这说明儿童在进行抑制的时候需要额叶脑区的参与,还需要后部区域的协助以补偿儿童尚为薄弱的额叶抑制功能.

参考文献

- 1 Bjorklund D F. Children's Thinking, 4th ed. Belmont: Wadsworth/Thomson Learning, 2003. 119—140, 142—145, 162—163, 343—344
- 2 王益文, 刘岩, 高艳霞, 等. 错误信念推理的时间过程与源定位. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2008, 38: 93—100
- 3 王益文, 林崇德. 额叶参与执行控制的ERP负荷效应. 心理学报, 2005, 37: 723—728
- 4 Stroop J R. Studies of interference in serial verbal reactions. J Exp Psychol, 1935, 18: 643—662[DOI]
- 5 Mager R, Bullinger A H, Brand S, et al. Age-related changes in cognitive conflict processing: an event-related potential study. Neurobiol Aging, 2007, 28: 1925—1935[DOI]
- 6 Markela-Lerenc J, Ille N, Kaiser S, et al. Prefrontal-cingulate activation during executive control: which comes first? Cogn Brain Res, 2004, 3: 278—287[DOI]
- 7 Qiu J, Luo Y J, Wang Q H, et al. Brain mechanism of Stroop interference effect in Chinese characters. Brain Res, 2006, 1072: 186—193[DOI]
- 8 刘昌, 刘兆敏. Stroop 效应和反转 Stroop 效应的脑事件相关电位研究. 南京师大学报(社会科学版), 2007, 53: 95—100
- 9 陈小异, 邱江, 袁宏, 等. 中英文 Stroop 干扰效应的脑机制. 心理科学, 2007, 30: 529—534
- 10 Macleod C M. Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. Psychol Bul, 1991, 109: 163—203[DOI]
- 11 Hanauera J B, Brooks P J. Contributions of response set and semantic relatedness to cross-modal Stroop-like picture-word interference in children and adults. J Exp Child Psychol, 2005, 90: 21—47[DOI]
- 12 Lupker S J. The semantic nature of response competition in the picture-word interference task. Mem Cogn, 1979, 7: 485—495
- 13 La H W. Components of Stroop-like interference in picture naming. Mem Cognit, 1988, 16: 400—410
- 14 王益文, 林崇德, 陆祖宏. 发展认知神经科学的研究进展. 自然科学进展, 2006, 16: 1530—1535
- 15 王益文, 陈光辉, 刘岩, 等. 神经成像在心理发展研究中的应用. 自然科学进展, 2007, 17: 603—608
- 16 北京语言学院语言教学研究所. 现代汉语频率词典. 北京: 北京语言学院出版社, 1986
- 17 杨丽霞, 陈永明, 周治金. 不同理解能力的个体在词汇加工中的抑制机制. 心理学报, 2001, 33: 294—299
- 18 Collins A M, Loftus E F. A spreading-activation theory of semantic processing. Psychol Rev, 1975, 82: 407—428[DOI]
- 19 Caramazza A, Costa A. The semantic interference effect in the picture-word interference paradigm: does the response set matter. Cognition, 2000, 75: B51—B64[DOI]
- 20 Bunge S A, Hazeltine E, Scanlon M D, et al. Dissociable contributions of prefrontal and parietal cortices to response selection. Neuroimage, 2002, 17: 1562—1571[DOI]

- 21 Jonkman L M. The development of preparation, conflict monitoring and inhibition from early childhood to young adulthood; a Go/Nogo ERP study. *Brain Res*, 2006, 1097: 181—193[DOI]
- 22 Carter C S, Braver T S, Barch D M, et al. Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 1998, 280: 747—749[DOI]
- 23 彭聃龄, 郭桃梅, 魏景汉, 等. 儿童 Stroop 效应加工阶段特点的事件相关电位研究. *科学技术与工程*, 2004, 4: 84—88
- 24 Rebai M, Bernard C, Lannou J. The Stroop test's evokes a negative brain potential, the N400. *Int J Neurosci*, 1997, 91: 85—94[DOI]
- 25 刘兆敏, 刘昌. 青少年 Stroop 效应和反转 Stroop 效应的脑事件相关电位研究. *心理学探新*, 2007, 27: 48—54
- 26 Jongen E M, Jonkman L M. The developmental pattern of stimulus and response interference in a color-object Stroop task: an ERP study. *BMC Neurosci*, 2008, 9: 82[DOI]
- 27 Bunge S A, Dudukovic N M, Thomason M E, et al. Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: evidence from fMRI. *Neuron*, 2002, 33: 301—311[DOI]