DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.04.018

字母 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的神经机制

唐丹丹[1,2]，　高雪梅[2]，　罗　念[1]，
李文权[1]，　朱　海[1]，　杨青松[1]

1. 遵义师范学院 教师教育学院，贵州 遵义 563006；2. 西南大学 心理学部，重庆 400715

摘要：在认知控制研究中，字母 Flanker 任务是考察刺激冲突和反应冲突产生机制的重要模型. 然而，在该任务中，现有研究尚未清晰揭示这两类冲突的产生机制. 该研究通过两个实验记录了被试完成 2∶1 字母 Flanker 任务时的脑电和行为数据，考察了典型 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的特定机制. 实验一和实验二的行为结果一致表明：反应时随练习而缩短，但刺激冲突和反应冲突无显著变化. 实验一的事件相关电位结果显示，练习对中顶部 P300 波幅无显著影响，反应时与 P300 波幅负相关. 这些结果表明，在字母 Flanker 任务中，练习对刺激冲突和反应冲突无显著影响. 因此，该研究揭示了字母 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的稳定特征.

关　键　词：2∶1 映射设计；冲突；练习；字母 Flanker 任务；刺激冲突；反应冲突；神经机制

中图分类号：B845.1；Q983^{+}.5　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-9868(2021)04-0146-11

认知控制是人类认知系统的重要特征和功能. 个体需要调用认知控制机制来解决一致性任务(如 Flanker 任务[1]、Simon 任务[2]和 Stroop 任务[3])中出现的冲突[4-5]. 通常，研究者采用 2∶1 映射设计(2∶1 mapping design，两种刺激映射到同一个反应键)[1,6]研究冲突的产生机制.

例如，在字母 Flanker 任务中，刺激可以由 N,H,K 或 F 4 个大写字母组成. 被试需要对中间的目标刺激做反应，忽略侧边的干扰刺激. 当目标刺激是 N 或 H 时，按左键；当目标刺激是 K 或 F 时，按右键. 在一致(congruent，CO)条件，目标刺激和干扰刺激完全相同，如“NNNNN”；在刺激不一致(stimulus incongruent，SI)条件，目标刺激和干扰刺激不同，但它们对应的反应相同，如“KKFKK”；在反应不一致(response incongruent，RI)条件，目标刺激和干扰刺激不同，它们对应的反应也不同，如“NNFNN”. 干扰效应可分解为发生在刺激加工水平上的刺激冲突和发生在反应输出水平上的反应冲突[7-10]. 在反应时上，CO 条件快于 SI 条件，SI 条件快于 RI 条件. 采用减法反应时原理，可用 SI 条件的反应时减去 CO 条件的反应时，RI 条件的反应时减去 SI 条件的反应时来分别表示这两类冲突的大小.

维度重叠模型[7,11]是解释冲突产生机制的重要理论. 该模型提出，在一致性任务中，刺激由目标维度、干扰维度和反应输出维度构成. 其中，刺激的目标维度和干扰维度在加工效率和加工通道上是相同的. 通过刺激-反应规则的映射，目标维度和干扰维度在刺激加工阶段始终存在重叠. 当两个维度所激活的反应相同时，将出现刺激冲突；当两个维度所激活的反应不同时，既会出现刺激冲突，又会出现反应冲突.

收稿日期：2019-12-09
基金项目：遵义市科技局、遵义师范学院联合科技研发资金项目(遵市科合 HZ 字[2020]29 号)；国家自然科学基金项目(31771254).
作者简介：唐丹丹，讲师，主要从事注意与认知控制的神经机制研究.
通信作者：杨青松，副教授，硕士研究生导师.

已有研究[12-15]考察了练习对刺激冲突和反应冲突的影响. 例如，Chen 等[12]采用 2∶1 映射设计和练习范式发现，在 Stroop 任务中，刺激冲突随练习而逐渐减少直至消失，反应冲突不变. 这表明，练习能提高目标刺激的加工效率，但不能明显改变反应的自动化程度. 在色-词 Flanker 任务中，刺激冲突几乎不随练习而改变，但反应冲突随练习而逐渐增加. Tang 等[14]的研究结果与这一发现一致. 这表明，练习不会明显改变目标刺激的加工效率，但提升了干扰刺激的反应输出加工.

基于此，本研究推测，练习对刺激冲突和反应冲突的影响可能依赖于任务类型. 为了考察练习对典型 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的影响并揭示其机制，本研究实施了两个实验. 实验一采用 2∶1 映射设计和练习范式，记录了被试完成字母 Flanker 任务时的行为和脑电(electroencephalographic，EEG)数据. 实验一有 7 个 block，第 1 和第 7 个 block 各 192 个试次，其余每个 block 各 240 个试次；在每个 block 中，CO，SI 和 RI 试次的比例相同. 考虑到每个 block 中的试次数量不同可能影响练习效应，所以本研究实施了实验二. 实验二包含 7 个 block，每个 block 192 个试次；其余设计与实验一完全相同. 实验二记录了被试的行为数据.

研究已证实，字母 Flanker 任务中靶刺激和分心刺激都重叠于相同的刺激加工类别[7]. 所以，本研究预测，两个实验中，练习可能同等程度加强刺激-反应之间的联结，从而整体缩短反应时，但对刺激冲突和反应冲突没有显著影响.

文献[16]的 EEG 研究结果显示，在中顶部(centro-parietal region)或顶部记录到的 P300 波幅与任务难度存在反相的变化关系. 例如，在 Flanker 任务中，一致条件比不一致条件的 P300 波幅更大[17]. 唐丹丹等[18]在色-词 Flanker 任务中发现，CO 条件中的 P300 波幅比 SI 条件和 RI 条件中的更大. 因此，实验一以中顶部 P300 波幅作为评估刺激冲突和反应冲突的事件相关电位(event-related potentials，ERPs)指标，预测：① 中顶部 P300 波幅在 CO，SI 和 RI 条件中依次减小；② 练习对 P300 波幅没有显著影响；③ P300 波幅与反应时显著相关.

1　实验一

1.1　方　法

1.1.1　被　试

29 名 18～25 岁的健康成人被试(11 名女性)自愿报名参加本实验. 其平均年龄为 21.40 岁，标准差为 1.82 岁. 被试均口头报告为右利手，视力或矫正视力正常，在此之前没有参加过类似实验，对本实验目的不知情. 实验前，所有被试填写知情同意书. 西南大学人类研究伦理委员会同意实施本研究.

1.1.2　实验仪器与材料

所有刺激用 DELL 17 英寸的液晶显示呈现，分辨率为 1 024×768，颜色为真彩色，刷新率为 85 Hz，屏幕背景颜色为黑色. 实验程序由 E-prime 1.0 心理学软件工具包(美国匹兹堡)编制运行，被试的反应由标准 QWERTY 键盘记录. 人眼距屏幕中心的距离约为 60 cm.

所有刺激呈现于屏幕中央. 刺激由白色的注视点(+)及 5 个水平排列的大写字母(N，H，K 或 F 组合)组成，字体为白色、Times New Roman 22 号. 刺激呈现的视角大约为 2.29°×0.76°. 中间的字母是目标刺激，两侧的字母是干扰刺激且都相同. 其中，干扰刺激可能与目标刺激相同，也可能与目标刺激不同.

1.1.3　实验设计

本研究采用基于字母 Flanker 任务的 2∶1 映射设计[1,6]. 指导语告知被试忽略两侧字母，根据中间字母又快又准地作出反应. 若中间字母为“N”或“H”，用左手食指按 2 键；若中间字母为“K”或“F”，用右手食指按 9 键. 左、右手按键反应规则在被试间平衡. 由此，本实验构造了 CO(如“KKKKK”)、SI(如“NNHNN”)和 RI(如“NNFNN”)3 种刺激类型.

正式实验前，所有被试完成 16 个练习试次，以熟悉刺激-反应映射规则(这些规则与正式实验中的一致). 正式实验共 7 个 block. 第 1 个和最后 1 个 block 各 192 个试次；中间 5 个 block 各 240 个试次. 在每个 block 中，CO，SI 和 RI 试次的比例相等. 这样的设计能排除由于 3 种试次的比例不同对练习效应的观察

造成的影响. 本实验共1 584个试次，这样能保证在足够长的阶段观察练习效应. 另外，每完成1个block，被试至少休息2 min，以减少疲劳效应.

1.1.4 实验程序

每个试次的刺激呈现顺序为：① 白色“+”注视点300 ms；② 时间间隔在800～1 000 ms内随机变化的黑色空屏；③ 5个水平排列的大写字母组合. 被试需在1 500 ms内作出反应，按键后刺激立即消失(如果被试没有在1 500 ms内作出反应，该试次将被记录为错误反应的试次)；④ 时间间隔在800～1 200 ms内随机变化的黑色空屏. 所有试次随机呈现.

1.2 EEG记录和分析

1.2.1 EEG记录

采用国际10～20系统扩展的64导电极帽，以Brain Products GmbH记录EEG信号，以FCz为参考电极，接地点在FPz和Fz的中点. 为了监测眼动和眨眼，同时记录眼电(electro-oculographic，EOG)信号. 高于左眼上眼睑、低于左眼下眼睑位置各安置电极记录垂直眼电(VEOG)，双眼外侧大约1 cm处安置电极记录水平眼电(HEOG). 每个电极处的头皮电阻都小于5 kΩ. 滤波带通为0.01～100 Hz，每个电极点的采样频率为500 Hz.

1.2.2 EEG数据预处理

采用在MATLAB环境下运行的开源工具包EEGLAB[19]对EEG数据进行预处理和分析. EEG数据被重参考到双侧乳突电极. 连续的EEG数据采用30 Hz的低通滤波，1 Hz的高通滤波. 所有错误反应的(占所有被试试次总量的7.04%)和错误反应之后的(占所有被试试次总量的6.16%)试次在随后的分析中被排除. ERPs数据的分析时程从刺激呈现前200 ms到刺激呈现后1 000 ms，采用－200～0 ms作为基线，并被校正. 肌电(electromyographic，EMG)伪迹、放大器饱和所引起的伪迹以及其他伪迹(如波幅超过±80 mV的伪迹)手动去除. 随后，眨眼和眼动伪迹用独立成分分析(independent component analysis，ICA)校正[19-21]，在所有数据集中，将个别被移除的独立成分(independent components，ICs)包括一个大的EOG电极贡献和前额叶的头皮分布去除. 最后，再次进行基线校正.

1.2.3 ERPs分析

(1)对于CO,SI和RI条件，分别绘制每个block中每个电极点的总平均ERPs波形.

(2)基于已有的研究[14,18,22]和每个电极点的总平均波形图，本研究以中顶部6个电极点，即Cz,C2,Pz,P2,CPz和CP2为感兴趣区域，在400～600 ms的时间窗内分别测量每个block中CO,SI和RI条件的P300平均波幅(μV). 将6个电极点上记录到的ERPs数据进行总平均能提高ERPs分析的信噪比[23]；另外，由于本研究中的P300没有明显波峰，所以本研究选择其平均波幅作为测量指标.

1.3 结 果

1.3.1 反应时结果

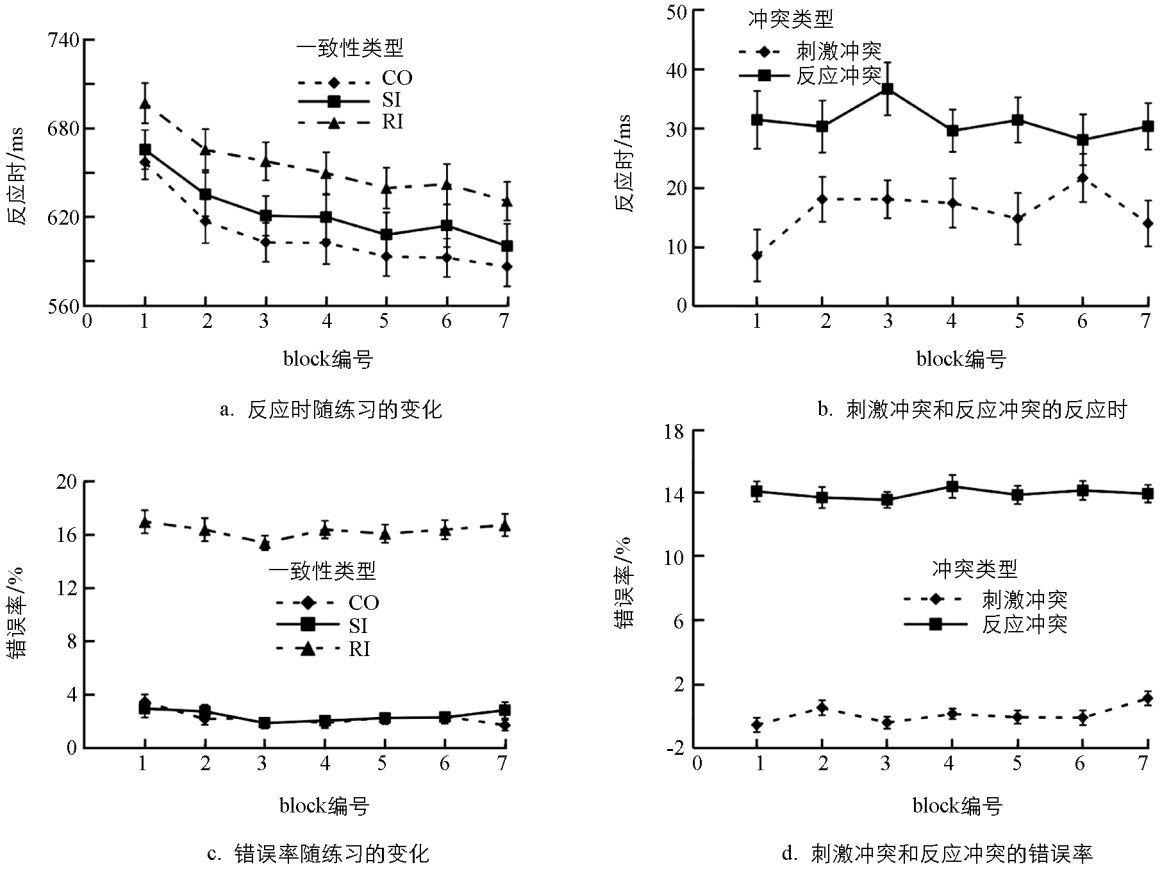
剔除错误反应试次(大约占试次总量的7.04%)、错误反应之后的正确反应试次(大约占试次总量的6.16%)和平均反应时超出±3个标准差的异常值(大约占正确试次总量的7.17%). 图1a和图1b展示了反应时的结果.

以一致性类型和block为自变量，实施3(一致性类型：CO,SI和RI)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析(analyses of variance，ANOVAs). 采用Mauchly法检验球形假设[24]：若违反球形假设($p<0.05$)，则采用Greenhouse-Geisser法校正自由度[25]. 事后多重比较采用Bonferroni法校正p值，显著性水平被设定为$p<0.05$. 本研究所有两因素重复测量方差分析都采用与此相同的校正方法.

结果发现，block主效应具有统计学意义，$F(2.05, 57.41)=19.29$(Greenhouse-Geisser校正)，$p<0.001$，$\eta^2=0.408$；一致性类型主效应具有统计学意义，$F(2, 56)=180.42$，$p<0.001$，$\eta^2=0.866$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(12, 336)=1.21$，$p=0.278$，$\eta^2=0.041$. 比较主效应发现，block 1中的反应时显著长于block 2～7中的反应时，所有$p<0.001$(Bonferroni校正)；block 2中的反应时显著长于block 5和block 7中的反应时，所有$p<0.002$；CO,SI和RI条件的反应时依次增加，$p<0.001$. 除此之

外无其他具有统计学意义的结果，所有 $p>0.05$.

为展示刺激冲突和反应冲突随练习而发生的变化，以冲突类型和 block 为自变量，实施 2(冲突类型：刺激冲突和反应冲突)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析. 结果发现，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 1\,687)=1.63$，$p=0.143$，$\eta^2=0.055$；冲突类型主效应具有统计学意义，$F(1, 28)=12.74$，$p=0.001$，$\eta^2=0.313$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(6, 168)<1$. 比较主效应发现，刺激冲突显著小于反应冲突，$p=0.001$.



a. 反应时随练习的变化　　b. 刺激冲突和反应冲突的反应时

c. 错误率随练习的变化　　d. 刺激冲突和反应冲突的错误率

误差线表示每种条件下的标准误差(standard errors of the mean，SEMs). $n=29$ 人.

图 1　实验一的反应时和错误率结果

1.3.2　错误率结果

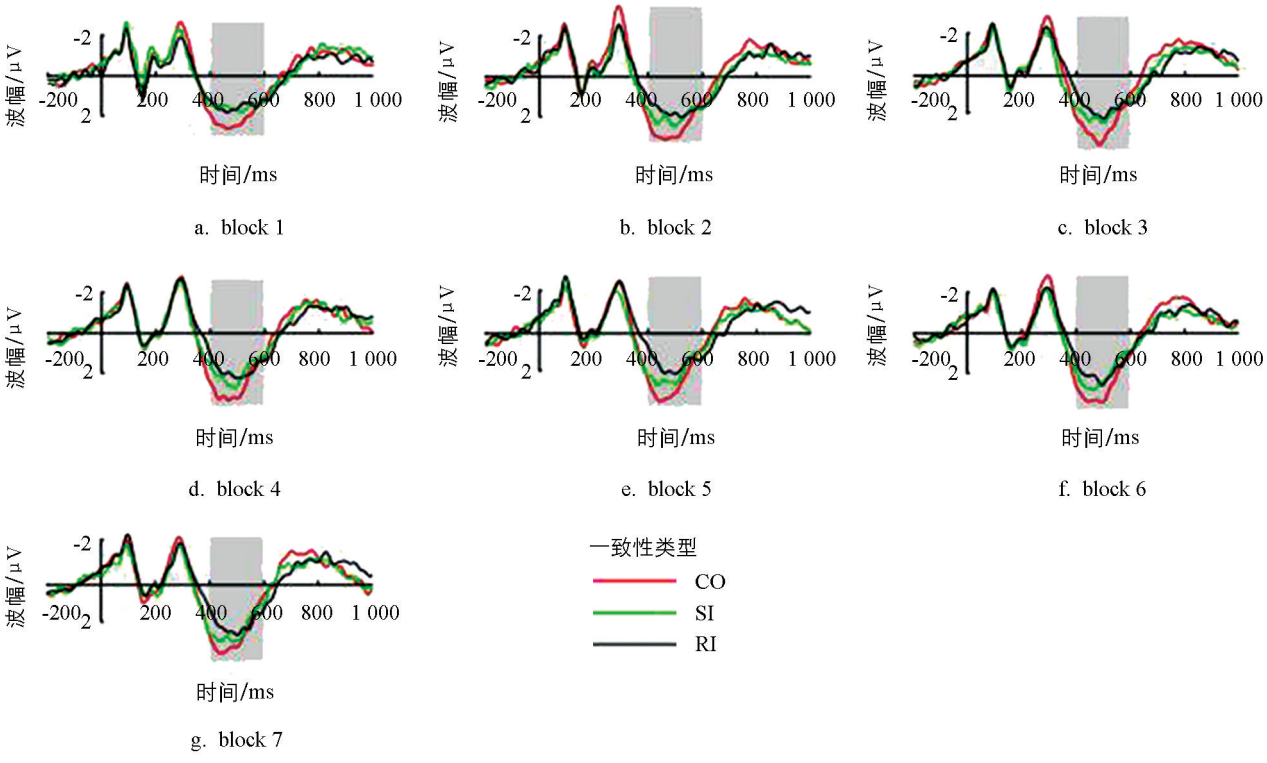
图 1c 和图 1d 展示了错误率的结果. 错误率的分析方法和反应时的分析方法相同.

3(一致性类型：CO，SI 和 RI)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析显示，block 主效应不具有统计学意义，$F(3.54, 99.10)=2.50$，$p=0.054$，$\eta^2=0.082$；一致性类型主效应具有统计学意义，$F(1.43, 40.01)=1\,883.88$，$p<0.001$，$\eta^2=0.985$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(6.79, 190.12)<1$. 比较主效应发现，CO 和 SI 条件的错误率显著低于 RI 条件的错误率，$p<0.001$；除此之外无其他具有统计学意义的结果，$p>0.1$.

2(冲突类型：刺激冲突和反应冲突)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析发现，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 168)=1.05$，$p=0.393$，$\eta^2=0.036$；冲突类型主效应具有统计学意义，$F(1, 28)=1\,590.72$，$p<0.001$，$\eta^2=0.983$，两因素交互效应不具有统计学意义，$F(6, 168)<1$. 比较主效应发现，刺激冲突显著小于反应冲突，$p<0.001$.

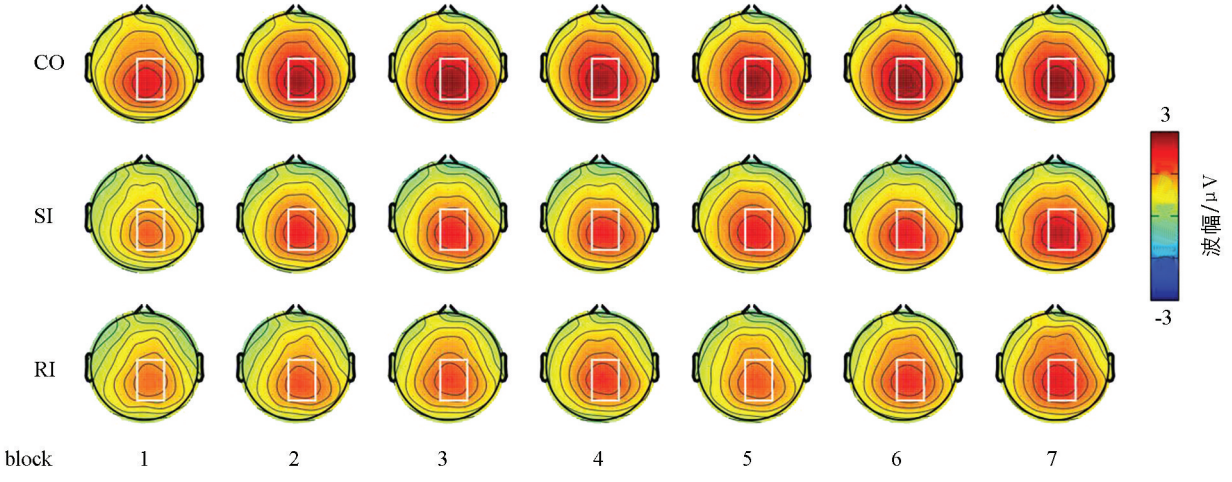
1.3.3　ERPs 结果

图 2 展示了以中顶部 6 个电极点(即：Cz，C2，Pz，P2，CPz 和 CP2)上记录到的平均电压绘制的 ERPs 波形. 图 3 展示了 P300(400～600 ms)的地形图. 图 4 展示了中顶部 P300 的平均波幅.



灰色矩形指示明显的P300成分. $n=29$.

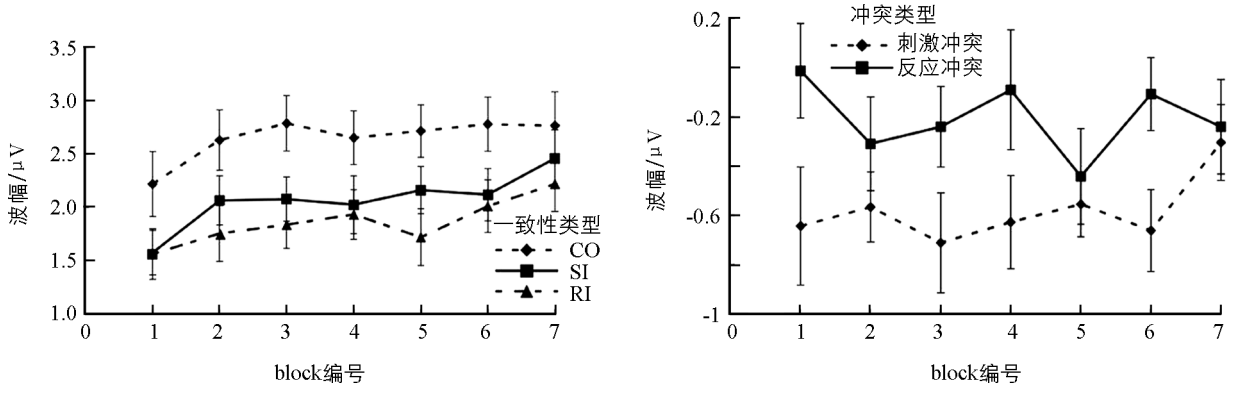
图2 中顶部总平均ERPs波形



从左到右依次展示了block 1～7中CO(上)、SI(中)和RI(下)条件引发的P300(400～600 ms)地形图. 在400～600 ms时间窗内，中顶部区域(白色矩形)出现明显的正成分；CO条件比SI和RI条件引发了明显更正的成分. $n=29$.

图3 P300的地形图

与反应时的分析相同，本实验首先对中顶部P300平均波幅实施3(一致性类型：CO，SI和RI)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析. 结果发现，block主效应具有统计学意义，$F(2.90, 81.12)=3.15$，$p=0.031$，$\eta^2=0.101$；一致性类型主效应具有统计学意义，$F(2, 56)=31.93$，$p<0.001$，$\eta^2=0.533$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(12, 336)<1$. 比较主效应发现，CO条件的P300波幅显著大于SI和RI条件的P300波幅，$p<0.001$；除此之外无其他具有统计学意义的结果，$p>0.1$.



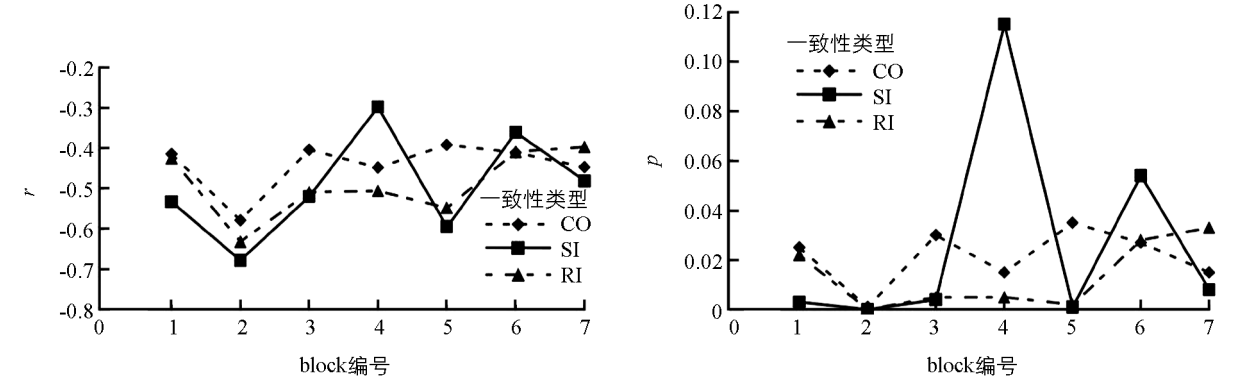
a. P300波幅随练习的变化　　b. 刺激冲突和反应冲突的波幅

误差线表示每种条件下的 SEMs，$n=29$.

图 4　中顶部 P300 的平均波幅

然后，本实验对中顶部 P300 平均波幅实施 2(冲突类型：刺激冲突和反应冲突)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析. 结果发现，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 168)<1$；冲突类型主效应具有统计学意义，$F(1, 28)=5.99$，$p=0.021$，$\eta^2=0.176$，两因素交互效应不具有统计学意义，$F(4.30, 120.27)<1$. 比较主效应发现，刺激冲突显著小于反应冲突，$p=0.021$.

对于 P300 波幅，刺激冲突和反应冲突的大小可以分别用 $ERP_{(SI-CO)}$ 和 $ERP_{(RI-SI)}$ 表示. 为考察 P300 波幅和反应时的关系，在每个 block 中分别对 CO,SI 和 RI 条件下的反应时和 P300 波幅实施 Pearson 积差相关分析(图 5)；在每个 block 中分别对刺激冲突的反应时和 $P300_{(SI-CO)}$，反应冲突的反应时和 $P300_{(RI-SI)}$ 实施 Pearson 积差相关分析(图 6).



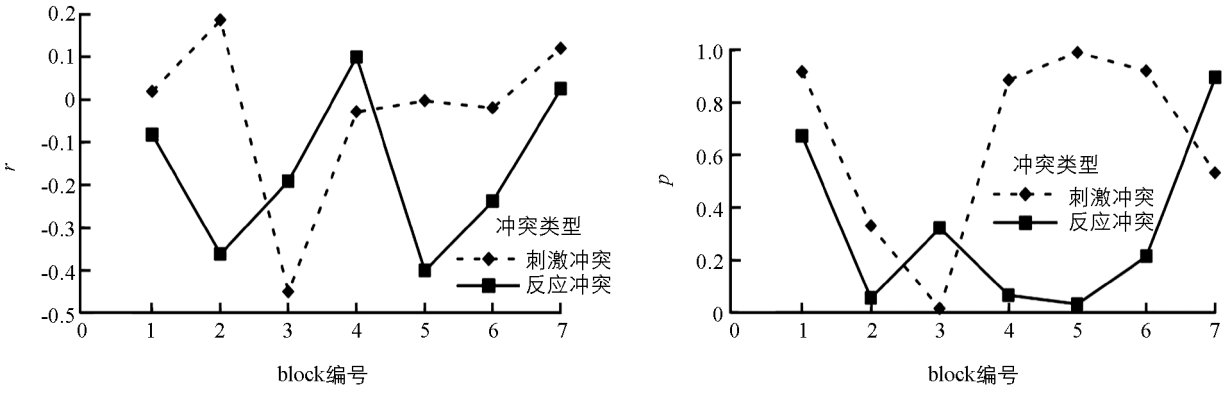
a. 积差相关系数(n=29)　　b. 显著性检验(n=29)

图 5　CO,SI 和 RI 条件的反应时和中顶部 P300 平均波幅的相关关系

1.4　讨　论

唐丹丹等[26]采用字母 Flanker 任务和 2∶1 范式考察了刺激冲突和反应冲突的神经振荡机制. 结果发现，练习只缩短 CO,SI 和 RI 条件的反应时，但对这两类冲突无明显影响. 本实验的反应时结果与之一致[26]. 因此，本实验和先前研究共同揭示了典型 Flanker 任务中稳定的练习效应(图 1a 和图 1b). 本实验的 ERPs 结果进一步支持了该结论.

中顶部 P300 波幅(400～600 ms)不随练习而发生显著变化(图 2－图 4)，与行为发现一致. 这表明了典型 Flanker 任务中一种不受练习因素影响的、任务特定的内在机制[26]. CO 条件引发的中顶部 P300 波幅显著大于 SI 和 RI 条件引发的中顶部 P300 波幅，SI 和 RI 条件引发的中顶部 P300 波幅无显著差异，这与唐丹丹等[18]的研究结果一致. 因此，P300 波幅敏感于冲突，反映了冲突条件和非冲突条件中的任务加工难度的差异[16-17]. 任务越难，P300 波幅越小.



a. 积差相关系数 b. 显著性检验

图6 刺激冲突、反应冲突和中顶部P300平均波幅(400～600 ms)差异的相关关系

CO,SI和RI条件的反应时与中顶部P300波幅呈显著负相关趋势(图5),反应时差异与中顶部P300波幅差异的相关不具有统计学意义(图6). 这表明,反应时越长,P300波幅越小. 由于SI和RI条件相对于CO条件是冲突条件,任务难度大,所以反应时更长,P300波幅更小[18]. 本实验进一步揭示,P300波幅可能反映了自上而下的冲突解决. 因此,本实验结果能为冲突监测理提供实验证据,证实中顶部P300在冲突解决中所扮演的角色[4, 27].

由于第1和第7个block中的试次数量(各192个)少于其余5个block中的试次数量(各240个),所以我们推测,试次数量可能干扰练习效应. 因此,为了排除每个block中试次数量不等对结果的混淆,实施了实验二. 在实验二中,每个block各包含192个试次,其余设计与实验一完全相同. 实验二只记录被试的行为数据. 我们预期实验二将重复实验一的行为结果. 这就排除了试次数量对练习效应的混淆.

2 实验二

2.1 方 法

2.1.1 被 试

35名(10名女性)自我报告为右利手的健康志愿者参与了本实验. 被试的年龄范围为19到22岁,平均年龄20.34岁,标准差为0.95岁,视力正常或矫正视力正常,自我报告未参加过类似实验,不了解该实验设计. 遵义师范学院人类研究伦理委员会同意实施本研究.

2.1.2 实验仪器与材料

实验程序用E-Prime 2.0心理学软件工具包编制并运行. 所有刺激被呈现在惠普17英寸的液晶显示器中央. 其他的与实验一完全相同.

2.1.3 实验设计

本实验共7个block,每个block各192个试次,其余设计与实验一完全相同.

2.1.4 实验程序

与实验一相同.

2.2 结 果

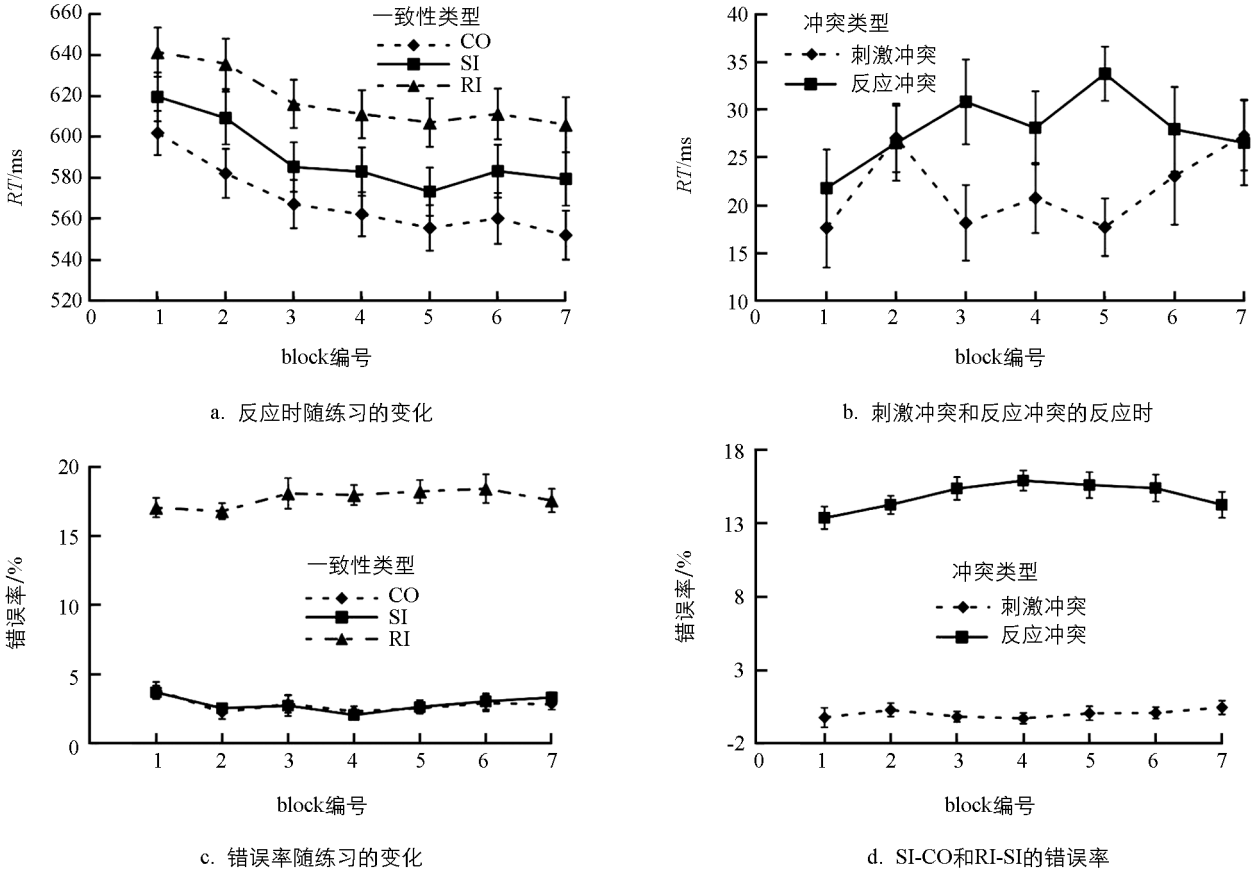
2.2.1 反应时结果

反应时分析方法与实验一一致. 所有错误试次(占试次总量的7.83%)、错误之后的正确试次(占试次总量的7.19%)和反应时超出±3个标准差的异常值(占试次总量的1.59%)被剔除. 所有被试在CO,SI和RI条件下的平均反应时和错误率见图7.

3(一致性类型:CO,SI和RI)×7(block:1～7)的两因素重复测量方差分析结果显示,block主效应具有统计学意义,$F(2.97, 101.02)=10.72$, $p<0.001$, $\eta^2=0.240$;一致性类型主效应具有统计学意义,$F(1.95, 66.42)=251.00$, $p<0.001$, $\eta^2=0.881$;两因素交互效应不具有统计学意义,$F(12, 408)=1.37$, $p=0.176$, $\eta^2=0.039$. 比较主效应发现,block 1中的反应时显著长于block 3～7中的反应时,所有

$p<0.05$；block 2 中的反应时显著长于 block 3～7 中的反应时，所有 $p<0.05$；CO，SI 和 RI 条件的反应时依次增加，$p<0.001$. 除此之外无其他具有统计学意义的结果，所有 $p>0.05$.

2(冲突类型：刺激冲突和反应冲突)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析结果发现，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 204)=1.64$，$p=0.139$，$\eta^2=0.046$；冲突类型主效应不具有统计学意义，$F(1, 34)=3.06$，$p=0.089$，$\eta^2=0.083$，两因素交互效应不具有统计学意义，$F(6, 204)=1.07$，$p=0.385$，$\eta^2=0.030$.



a. 反应时随练习的变化　　b. 刺激冲突和反应冲突的反应时

c. 错误率随练习的变化　　d. SI-CO和RI-SI的错误率

图 7　实验二的反应时和错误率结果

2.2.2　错误率结果

错误率分析方法与反应时的一致. 3(一致性类型：CO，SI 和 RI)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析结果显示，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 204)<1$；一致性类型主效应具有统计学意义，$F(1.24, 42.24)=857.87$，$p<0.001$，$\eta^2=0.962$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(12, 408)=1.56$，$p=0.102$，$\eta^2=0.044$. 比较主效应发现，CO 条件和 SI 条件的错误率显著低于 RI 条件的错误率，$p<0.001$. 除此之外无其他具有统计学意义的结果，$p>0.1$.

2(冲突类型：刺激冲突和反应冲突)×7(block：1～7)的两因素重复测量方差分析结果发现，block 主效应不具有统计学意义，$F(6, 204)=1.73$，$p=0.116$，$\eta^2=0.048$；冲突类型主效应具有统计学意义，$F(1, 34)=627.48$，$p<0.001$，$\eta^2=0.949$；两因素交互效应不具有统计学意义，$F(6, 204)=1.27$，$p=0.272$，$\eta^2=0.036$. 比较主效应发现，刺激冲突显著小于反应冲突，$p<0.001$. 除此之外无其他具有统计学意义的结果，$p>0.1$.

2.3　讨　论

在实验一中，第 1 和第 7 个 block 中的试次数量比其余 5 个 block 中的试次数量少，这可能干扰练习效应的观察. 在本实验中，每个 block 的试次数量相等，这就排除了试次数量的差异对实验结果的影响. 本实验结果发现，反应时随练习有变短的趋势；练习对刺激冲突和反应冲突的影响不具有统计学意义；练习对错误率的影响不具有统计学意义. 该结果重复了实验一的结果，这表明试次数量的差异对练习效应的观察

的影响不具有统计学意义. 因此，两个实验共同表明，典型 Flanker 任务中的练习效应是稳定的，练习对刺激冲突和反应冲突的影响都不具有统计学意义.

3 总讨论

本研究采用基于字母 Flanker 任务的 2∶1 映射设计和练习范式，考察了练习对典型 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的影响，揭示了两类冲突随练习而发生变化的行为和 ERPs 机制. 两个实验的行为结果一致表明，在整个实验阶段中，反应时逐渐缩短，但刺激冲突和反应冲突无显著变化(图 1 和图 7). 这表明字母 Flanker 任务中，刺激冲突和反应冲突是稳定的，对练习不敏感. 实验一的 ERPs 结果显示，① 练习对 P300 波幅无显著影响，非冲突条件(CO)比冲突条件(SI,RI)引发的中顶部 P300 波幅(400～600 ms)显著更大(图 2～4). 这表明，P300 波幅敏感于冲突，不敏感于练习. ② 反应时与 P300 波幅呈显著负相关趋势(图 5)，反应时差异与中顶部 P300 波幅差异的相关不显著(图 6). 这表明，P300 波幅越大，反应时越短(即 CO 条件中 P300 波幅更大，反应时更短)，所以中顶部 P300 可能与自上而下的冲突解决有关. 因此，行为和 ERPs 结果共同揭示了典型 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的稳定练习效应及其神经机制，支持了冲突监测理论，加深了对冲突产生机制的理解.

已有研究[12-13]考察了 Stroop 任务中刺激冲突和反应冲突的特征. 结果发现，刺激冲突随练习而显著减少，但反应冲突几乎不受练习因素影响. 另有研究[12,14]考察了色-词 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的特征. 行为结果显示，练习对刺激冲突无明显影响，但反应冲突随练习而显著增加.

本研究采用字母 Flanker 任务发现，两类冲突都不受练习因素的显著影响，这和以前的研究结果不一致. 其原因可能与任务性质有关. 在字母 Flanker 任务中，目标刺激和干扰刺激都是字母. 被试的任务是对中间字母做反应，忽略侧边字母的干扰. 由于目标刺激和干扰刺激在空间上是分离的，侧边字母会干扰中间字母的加工，从而产生刺激冲突. 根据维度重叠模型[7,11]，练习对刺激冲突无显著影响，说明与任务相关的目标维度和与任务无关的干扰维度之间始终存在重叠，所以目标刺激和干扰刺激之间的竞争强度不变. 练习对反应冲突无显著影响，说明目标刺激所激活的反应和干扰刺激所激活的反应之间始终存在重叠，从而激活了不同的反应趋势，并且它们始终存在竞争. 因此，本研究揭示了典型 Flanker 任务中刺激冲突和反应冲突的特定练习效应，证实练习对刺激冲突和反应冲突的影响是任务特定的[26].

ERPs 结果与行为结果一致. 练习对中顶部 P300 波幅无显著影响，并且 P300 波幅与反应时负相关，反应时越长的试次，P300 波幅越小. 已有的研究提出，P300 波幅可能与反应冲突的控制或解决有关[14]. 因此，在本研究中，我们认为，P300 波幅反映了大脑自上而下的冲突解决.

研究发现，工作负荷增加时，P300 波幅减小[29-30]. 在 Flanker 任务中，CO 条件比不一致条件引发的 P300 波幅更大[17-18]. 本研究发现，P300 波幅只受试次类型调节，CO 条件比 SI 和 RI 条件引发的 P300 波幅更大. 这表明，P300 波幅敏感于冲突和非冲突. 冲突条件下的任务难度更大，刺激加工负荷更大，认知加工资源更多，P300 波幅更小.

综上所述，本研究揭示了刺激冲突和反应冲突的特定模式，个体对刺激冲突和反应冲突的加工是领域特定的[31]. 在 Stroop 任务中，刺激冲突敏感于练习，而反应冲突是稳定的[12]. 在色-词 Flanker 任务中，结果正好相反[14]；在字母 Flanker 任务中，刺激冲突和反应冲突都很稳定[26]. 因此，这些结果可能共同揭示了任务特定的冲突产生模式. 另外，在认知控制研究中，冲突产生和冲突解决是两个热点问题. 特别地，将来的研究可以采用本研究范式探讨任务特定的冲突解决模式[32].

参考文献：

[1] ERIKSEN B A, ERIKSEN C W. Effects of Noise Letters Upon the Identification of a Target Letter in a Nonsearch Task [J]. Perception & Psychophysics, 1974, 16(1): 143-149.

[2] SIMON J R. The Effects of an Irrelevant Directional CUE on Human Information Processing [M] //Advances in Psychology. Amsterdam: Elsevier, 1990: 31-86.

[3] STROOP J R. Studies of Interference in Serial Verbal Reactions [J]. Journal of Experimental Psychology, 1935, 18:

643-662.

[4] BOTVINICK M M, COHEN J D. The Computational and Neural Basis of Cognitive Control: Charted Territory and New Frontiers [J]. Cognitive Science, 2014, 38(6): 1249-1285.

[5] RIDDERINKHOF K R. The Role of the Medial Frontal Cortex in Cognitive Control [J]. Science, 2004, 306(5695): 443-447.

[6] De HOUWER J. On the Role of Stimulus-Response and Stimulus-Stimulus Compatibility in the Stroop Effect [J]. Memory and Cognition, 2003, 31(3): 353-359.

[7] KORNBLUM S, HASBROUCQ T, OSMAN A. Dimensional Overlap: Cognitive Basis for Stimulus-Response Compatibility——A Model and Taxonomy [J]. Psychological Review, 1990, 97(2): 253-270.

[8] VAN VEEN V, COHEN J D, BOTVINICK M M, et al. Anterior Cingulate Cortex, Conflict Monitoring, and Levels of Processing [J]. NeuroImage, 2001, 14(6): 1302-1308.

[9] ZHANG H H, ZHANG J, KORNBLUM S. A Parallel Distributed Processing Model of Stimulus - Stimulus and Stimulus - Response Compatibility [J]. Cognitive Psychology, 1999, 38(3): 386-432.

[10] CHEN A T, BAILEY K, TIERNAN B N, et al. Neural Correlates of Stimulus and Response Interference in a 2-1 Mapping Stroop Task [J]. International Journal of Psychophysiology, 2011, 80(2): 129-138.

[11] KORNBLUM S, LEE J W. Stimulus-response Compatibility with Relevant and Irrelevant Stimulus Dimensions that do and do not Overlap with the Response [J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1995, 21(4): 855-875.

[12] CHEN A T, TANG D D, CHEN X F. Training Reveals the Sources of Stroop and Flanker Interference Effects [J]. PLoS One, 2013, 8(10): e76580-1-e76580-8.

[13] CHEN Z C, LEI X, DING C, et al. The Neural Mechanisms of Semantic and Response Conflicts: an fMRI Study of Practice-related Effects in the Stroop Task [J]. NeuroImage, 2013, 66: 577-584.

[14] TANG D D, HU L, LEI Y, et al. Frontal and Occipital-Parietal Alpha Oscillations Distinguish Between Stimulus Conflict and Response Conflict [J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2015, 9: 00433-1-00433-12.

[15] ZHANG L W, DING C, LI H, et al. The Influence of Attentional Control on Stimulus Processing is Category Specific in Stroop Tasks: Attentional Control [J]. Psychological Research, 2013, 77(5): 599-610.

[16] PICTON T W. The P300 Wave of the Human Event-related Potential [J]. Journal of Clinical Neurophysiology, 1992, 9(4): 456-479.

[17] DOUCET C, STELMACK R M. The Effect of Response Execution on P3 Latency, Reaction Time, and Movement Time [J]. Psychophysiology, 1999, 36(3): 351-363.

[18] 唐丹丹，彭微微，杨青松，等. 刺激冲突和反应冲突的事件相关电位特征：中顶部 P3 [J]. 心理与行为研究，2018，16(1)：31-36.

[19] DELORME A, MAKEIG S. EEGLAB: an Open Source Toolbox for Analysis of Single-trial EEG Dynamics Including Independent Component Analysis [J]. Journal of Neuroscience Methods, 2004, 134(1): 9-21.

[20] JUNG T P, MAKEIG S, WESTERFIELD M, et al. Analysis and Visualization of Single-Rrial Event-Related Potentials [J]. Human Brain Mapping, 2001, 14(3): 166-185.

[21] MAKEIG S, JUNG T P, BELL A J, et al. Blind Separation of Auditory Event-Related Brain Responses into Independent Components [J]. PNAS, 1997, 94(20): 10979-10984.

[22] POLICH J. Updating P300: an Integrative Theory of P3a and P3b [J]. Clinical Neurophysiology, 2007, 118(10): 2128-2148.

[23] COHEN M X, VAN GAAL S. Dynamic Interactions Between Large-Scale Brain Networks Predict Behavioral Adaptation after Perceptual Errors [J]. Cerebral Cortex, 2013, 23(5): 1061-1072.

[24] ROGAN J C, KESELMAN H J, MENDOZA J L. Analysis of Repeated Measurements [J]. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 1979, 32(2): 269-286.

[25] GIRDEN E R. ANOVA: Repeated measures [J]. Bms Bulletin of Sociological Methodology, 1992, 35: 60-61.

[26] 唐丹丹，陈安涛，李　红，等. 前额叶神经振荡活动反映了稳固的刺激冲突和反应冲突 [J]. 心理科学，2020，43(1)：23-32.

[27] BOTVINICK M, NYSTROM L E, FISSELL K, et al. Conflict Monitoring Versus Selection-for-action in Anterior Cin-

gulate Cortex [J]. Nature, 1999, 402(6758): 179-181.
[28] NIGBUR R, COHEN M X, RIDDERINKHOF K R, et al. Theta Dynamics Reveal Domain-Specific Control over Stimulus and Response Conflict [J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 2012, 24(5): 1264-1274.
[29] MILLER M W, RIETSCHE J, MCDONALD C G, et al. A Novel Approach to the Physiological Measurement of Mental Workload [J]. International Journal of Psychophysiology, 2011, 80(1): 75-78.
[30] ALLISON B Z, POLICH J. Workload Assessment of Computer Gaming Using a Single-Stimulus Event-Related Potential Paradigm [J]. Biological Psychology, 2008, 77(3): 277-283.
[31] LI Q, WANG K, NAN W Z, et al. Electrophysiological Dynamics Reveal Distinct Processing of Stimulus-Stimulus and Stimulus-Response Conflicts [J]. Psychophysiology, 2015, 52(4): 562-571.
[32] 李 畅, 陈 加, 何春红, 等. Flanker任务中纯净的冲突适应效应 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(4): 152-156.

The Neural Mechanisms of Stimulus and Response Conflicts in the Letter Flanker Task

TANG Dan-dan[1,2], GAO Xue-mei[2], LUO Nian[1], LI Wen-quan[1], ZHU Hai[1], YANG Qing-song[1]

1. *School of Education and Center of Mental Health and Psychological Counseling, Zunyi Normal College, Zunyi Guizhou 563006, China;*
2. *Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China*

Abstract: In the research field of cognitive control, an important model used to study the mechanisms of stimulus and response conflicts is the letter Flanker task. However, the existing research has not made clear the mechanisms of the two types of conflicts that vary with practice in this task. The present study recorded the behavioral and electroencephalographic data when healthy participants were performing the 2∶1 letter Flanker task in two experiments. The behavioral results in both experiments showed that response time(RT) was significantly reduced with practice, but constant stimulus and response conflicts had no marked changes. The event-related potential(ERP) results in Experiment 1 were consistent with the RT results, and showed that the centro-parietal P300 (400—600 ms) amplitudes were stable across blocks and negatively correlated with RT, suggesting a top-down conflict resolution mechanism. Altogether, in the letter Flanker task, stimulus and response conflicts are not significantly affected by the practice. Thus, the present findings reveal a stable feature of stimulus and response conflicts in the typical Flanker task.

Key words: 2∶1 mapping design; conflict; practice; letter Flanker task; stimulus conflict; response conflict; neural mechanism

责任编辑 潘春燕