论文

任务转换的多脑区作用机制: 来自 ERP 的证据

孙天义^{①②}, 许远理^②, 郭春彦^{①*}

① 首都师范大学教育学院心理系“学习与认知”北京市重点实验室, 北京 100048;

② 信阳师范学院教育科学学院心理系, 信阳 464000

* 联系人, E-mail: guocy@hotmail.com

收稿日期: 2011-09-27; 接受日期: 2011-10-10

国家自然科学基金(批准号: 30870760)、北京市教委科技重点项目(批准号: KZ201010028029)、高等学校博士学科点专项基金(批准号: 20101108110004)资助

doi: 10.1360/052011-490

摘要 采用“任务转换”实验范式, 以数字、汉字的归类为任务, 探究预知和未预知条件下任务转换的 ERPs. 实验中被试先后完成 2 个连续的任务, 任务序列为重复(AA, BB,)或转换(AB, BA,). 结果发现, 在预知条件下, 转换序列的先行任务数/词比重复序列的先行任务数/词、转换序列的后继任务数/词比重复序列的后继任务数/词都产生一个更为负走向的波, 在中央区(CZ)差异波为 D-N320. 而未预知条件下, 仅转换序列后继任务数/词比重复序列后继任务数/词产生一个更为负走向的波, 中央区差异波为 D-N320. 对差异波溯源分析发现, 内源性准备源于左侧额区(Left BA20); 外源性调节在预知条件下源于右侧顶区(Right BA19), 而未预知条件下源于左侧额区(Left BA47)和右侧额区(Right BA10). 结果表明, 任务转换本质是认知冲突过程, 对应的脑电成分为 D-N320. 在预知条件下任务转换先后单独由额区和顶区负责, 预知准备使得任务转换在低级皮层区完成, 而未预知条件下任务转换在更广的高级皮层区完成, 同时激活左侧额区和右侧额区, 且外源性调节对应的脑区在预知条件和未预知条件下是分离的.

关键词任务转换
内源性准备
外源性调节
认知冲突
D-N320
ERPs

日常的学习、工作、生活都需要人脑在众多任务之间频繁地转换, 任务转换是人类认知活动最基本的方式, 它需要对心理资源进行合理的配置, 需要一个程序图式或任务设置. 任务转换涉及无需外部刺激激发的内源性准备以及对外部刺激作反应的外源性调节, 在工作记忆中体现为竞争同一认知资源的两项任务之间相互转换的过程. Norman 和 Shallice^[1]曾指出, 任务转换是中央执行功能的一个重要方面, 而中央执行系统是 Baddeley 和 Hitch^[2]提出的工作记忆模型的核心, 它负责工作记忆中的注意监控, 其功

能类似于一个能量有限的注意系统, 该系统负责指挥语音环路和视空模板的活动.

前人对任务转换的行为实验研究得到比较一致的结果, 被试执行转换任务(BA 中的 A)比执行重复任务(AA 中的 A)反应时更长, 正确率更低^[3~7]. 研究者把这种在转换过程中的时间亏损称作转换代价, 并用转换任务与重复任务的反应时之差来表示. Rogers 和 Monsell^[5], Meiran^[6]认为, 任务转换包括内源性准备和外源性调节过程. 在预知条件下, 任务转换包括抑制之前的任务设置和激活当前的任务设置,

英文引用格式: Sun T Y, Xu Y L, Guo Y C. Functional mechanism of multiple cerebral cortices on task switching: an ERP study. SCIENTIA SINICA Vitae, 2011, 41: 1121-1133, doi: 10.1360/052011-490

为当前刺激的反应作准备(即任务设置重建), 因此称这一过程为内源性准备。已往的研究^[5-8]发现, 内源性准备不足以消除转换代价, 只有当新任务的刺激呈现时, 触发被试改变先前的反应规则, 转换到当前任务的反应规则并执行反应, 才能完成任务转换。任务转换中这个过程被称作新任务的外源性调节。它是自动的, 由外部刺激或事件驱动的、自下而上的加工。因此, 预知条件下任务转换包括内源性准备和外源性调节。而在未预知条件下, 由于任务序列是未知的, 被试完成当前任务后, 无法对后继任务进行准备, 即没有内源性准备过程, 只有当后继任务呈现时才能转换任务设置, 并执行对任务的反应。因此, 未预知条件下任务的转换依靠外源性调节来完成。近些年有关任务转换的行为实验研究更倾向于探索其心理过程的本质。如 Sdoia 和 Ferlazzo^[9]研究发现, 在预知任务序列的前提下, 与 CbA 相比, AbA 中的 b 任务反应时变慢, 揭示了任务转换是对先前任务设置的抑制, 且对已执行任务的抑制是在新任务的刺激加工阶段触发的。Cooper 和 Mari-Beffa^[10]却认为, 被试在任务间转换时是对每个任务使用了不同的反应设置, 发现转换代价与反应设置间转换有关。Beat 等人^[11]探究任务转换中双向刺激效应的一般性持续和暂时性持续, 其研究结果强调在任务转换时是自上而下的加工。而 Karle 等人^[12]关于视频游戏中任务转换的研究发现, 与游戏生手相比, 熟手在任务转换相关的认知控制过程中没有一般性优势, 转换代价的减少归功于控制选择注意的特殊作用。此外, Poljac 等人^[13]采用多重序列范式研究单一任务组(AAA 或 BBB)与混合任务组(AAABBBAAA, 其中 AA 或 BB 为重复, AB 或 BA 为转换)的任务转换, 发现重启代价与混合代价是基于分离的加工机制。

行为实验结果暗示任务转换过程复杂, 需要深入探究任务转换的神经机制。对脑损伤病人的研究发现, 额叶受损患者在不同刺激间转换时困难^[14-17]。Mecklinger 等人^[18]还发现, 左半脑损伤的病人在任务转换时其转换代价比右半脑损伤的病人更大。事后检验表明, 这种差异主要源于左半脑额叶损伤的病人存在言语障碍, 影响新任务启动所需要的有效言语表征。在空间定位脑成像方面, Rogers 等人^[19]使用 PET 技术探究被试任务转换时发现大脑前额叶被激活。Nagahama 等人^[20]的 fMRI 研究发现, 被试在不同

的知觉特性间转换注意时, 右前额叶被激活。而 Sohn 等人^[8]及 Jamadar 等人^[21,22]的 fMRI 研究发现, 被试在任务转换时激活了前额叶和顶叶。这些研究表明, 任务转换与额叶、颞叶及顶叶有关。

ERP 技术因其具有高时间分辨率而成为研究任务转换进程的一种有效方法, 通过它得到神经加工在时间上的信息。Lorist 等人^[23]使用交替转换范式, 以红蓝色字母为刺激材料研究任务转换, 结果在反应和下一刺激呈现之前的间隔内观察到一个增强的负慢波, 在前部脑区转换序列比重复序列更大, 但在顶区发生翻转。而 Travers 和 West^[24]使用信息消减任务转换范式, 以 Stroop 颜色词探究线索提取、任务设置重建和规则匹配, 却发现线索提取和任务设置重建诱发顶区慢波, 规则匹配诱发额极皮质慢波。Karayanidis 等人^[25]使用线索序列范式, 以字母(元音、辅音各 4 个)和数字(奇数、偶数各 4 个)归类为任务, 探讨转换和重复条件的 ERP 特征。结果发现, 与转换试次相对应的中央顶区正波(300~400 ms)反映了特定的转换准备加工, 靶前晚期负波(500~600 ms)是与转换和重复试次都相关的一般性预期准备加工。Hsieh 和 Liu^[26]也采用字母(元音、辅音各 4 个)和数字(奇数、偶数各 4 个)归类为任务, 但使用配对任务转换范式, 研究刺激-反应抑制和任务-设置抑制, 却发现 P3b 波是任务转换过程中克服无关任务设置刺激所诱发的任务冲突的抑制加工。这些结果表明, 任务转换不是单个脑区的功能, 同时, 结果的不一致暗示着任务转换可能还受实验范式、刺激材料的影响。但大部分任务转换的 ERP 研究都发现重复任务比转换任务诱发更大的 P3b 波形^[27-30]。此外, 以往的研究忽略任务序列中的先行任务, 主要关注后继任务, 并且通常把任务序列中的不同材料(如数字、字母)混合在一起, 这可能会对 ERP 的结果产生影响^[31-36]。

为了揭示任务转换信息加工的神经机制, 采用类似于 Sohn 等人^[8]的任务转换实验范式, 但以特征差异较大的单个汉字和两位自然数配对作为刺激材料, 记录任务序列对应的 ERPs, 对预知条件和未预知条件下任务序列先行任务、后继任务(即重复任务或转换任务)的 ERP 都进行分析。同时, 考查任务转换是否存在刺激材料的特异性, 以及重复序列后继任务比转换序列后继任务诱发更大的 P3b 波是否能作为外源性调节的 ERP 证据。

1 方法

1.1 被试

被试为 17 名大学生(7 名女生, 10 名男生), 年龄范围在 19~23 岁, 平均年龄为 20.24 岁. 所有被试视力正常或矫正视力正常, 均为右利手, 身体健康, 无色觉障碍, 无精神病史, 被试完成实验获得相应报酬.

1.2 刺激材料

每个刺激图片都是由一个两位自然数, 一个单字词, 以及长方形(9.0 cm×5.5 cm)背景组合而成, 其中数为 20~99 的 80 个自然数, 40 个奇数, 40 个偶数; 词为 80 个高频词(选自现代汉语频率词典, 北京语言学院出版社, 1986 年), 40 个名词, 40 个动词; 背景为红色或蓝色, 规定红色为数的奇数偶数判断, 蓝色为词的名词动词判断. 数与字的字体均为黑体, 颜色为白色. 数与词配对(偶数与名词配对, 奇数与动词配对; 对按键反应规定, 奇数/名词按一个键, 偶数/动词按另一个键), 且对称地分布在长方形背景上, 左右位置被平衡. 整个刺激图片呈现在屏幕中央. 每个任务序列(trial)包括连续进行的两个任务——先行任务、后继任务, 按键反应判断数(奇数/偶数)或词(名词/动词).

1.3 实验程序

实验条件为预知条件和未预知条件, 任务序列分重复序列(数-数、词-词)和转换序列(词-数、数-词). 40 个重复序列(20 个数-数序列和 20 个词-词序列随机混合)构成一个预知任务重复组, 共有 4 组. 40 个转换序列(20 个词-数序列和 20 个数-词序列随机混合)构成一个预知任务转换组, 也有 4 组. 在未预知条件下, 每组中既有重复序列又有转换序列, 20 个重复序列(数-数、词-词各 10 个序列)与 20 个转换序列(词-数、数-词各 10 个序列)随机混合成一个任务混合组, 共有 8 组. 实验条件及任务类型见表 1. 预知任务重复组、预知任务转换组和未预知任务混合组以随机顺序进行.

实验程序由 Presentation(0.81 版)软件编写, 使用戴尔计算机(17 英寸显示器, 1024×768 分辨率, 85 Hz 刷新频率, 程序运行时屏幕背景为黑色)呈现刺激. 实验时被试坐在隔音电磁屏蔽室内的显示器屏幕前, 两眼注视屏幕中央, 距离为 80 cm, 刺激图片的视角为

表 1 实验条件及任务类型说明

实验条件	组别	先行任务	后继任务
预知条件	任务重复组	数	数
	任务转换组	词	词
未预知条件	任务混合组	数	数
		词	词

4.5°×1.6°. 要求被试注视屏幕中央的注视点, 当刺激呈现后, 被试首先根据刺激背景颜色确定反应任务的类型, 然后根据要求进行相应的按键反应(如根据前面数与词的配对, 奇数或名词左手按键, 偶数或动词右手按键), 左右手反应键为游戏柄的 01, 05 两键, 并且被试在刺激呈现时控制眨眼, 按键反应既准又快. 左右手在被试间平衡. 每组任务开始时先呈现指导语(“以下任务序列全是任务重复, 请根据图片背景颜色进行按键反应”——任务重复组; “以下任务序列全是任务转换, 请根据图片背景颜色进行按键反应”——任务转换组; “请根据图片背景颜色进行按键反应”——任务混合组), 告知被试该组的任务类型. 每个序列中的两张刺激图片呈现时间都为 700 ms, 间隔(1000±100) ms, 相邻两个序列之间的时间间隔为 3200 ms(图 1). 每组任务结束后安排被试休息 4~5 min.

1.4 EEG 的记录与数据处理

使用 Neuroscan 公司 ESI-64 导脑电记录分析系统和 Ag/AgCl 电极帽, 连续记录每个任务序列 62 个单极导联的脑电(EEG). 电极位置采用 10~20 扩展电极系统. 另有 4 个电极记录眼电: 左眼眶上、下侧 2 个电极记录垂直眼电, 两眼外侧的 2 个电极记录水平眼电. 参考电极置于左侧乳突, 接地点在 Fpz 和 Fz 连线的中点. 连续记录原始脑电, 离线分析时以左、右两侧乳突的平均电位为参考. 分析时程取刺激呈现到 1000 ms, 以-100~0 ms 为基线进行矫正. 滤波带通为 0.05~40 Hz, A/D 采样率为 500 Hz. 以±75 μV 标准排除伴有眨眼、眼动、肌电等伪迹的数据. 电极与头皮接触电阻均保持小于 5 KΩ.

1.5 数据分析

根据电极位置与头皮分布之间的关系, 并结合波形、地形图等, 对所有电极点进行观察与计算,

得到基本一致的结果, 选出 5 个代表性电极(FPz, Fz, Cz, Pz 和 Oz)进行统计分析. 通过观察, 并参照前人的相关研究^[37-41], 确定任务序列中先行任务的分析时段为 300~400, 400~500 和 500~800 ms; 后继任务的分析时段为 250~350, 350~500 和 500~800 ms. 预知条件下重复序列和转换序列中先行任务的 ERPs 用于分析后继任务的任务设置对当前任务的影响, 以考察任务转换内源性准备; 通过比较预制条件下重复序列与转换序列中后继任务的 ERPs, 以及比较未预知条件下重复序列和转换序列中后继任务的 ERPs, 分析任务转换的外源性调节; 比较数与词在任务转换中的晚期 ERPs 差异波, 以考察是否存在材料特异性.

对实验结果进行两因素(2×5)重复测量的方差分析. 先行任务中, 在预知条件和未预知条件下, 数、词的数据分析都包括任务序列(2 水平: 重复序列、转换序列)和脑区(5 水平: 前额区 FPz、额区 Fz、中央区 Cz、顶区 Pz 和枕区 Oz). 后继任务中, 数、词的数据分析也都包括任务类型(2 水平: 重复任务、转换任务)和脑区(5 水平: 前额区、额区、中央区、顶区和枕区).

以上分析均使用 SPSS13.0 软件包进行, 同时选

用 Greenhouse-Geisser 矫正法.

2 结果

2.1 行为结果

实验规定, 一个序列中的先行任务和后继任务都反应正确时, 该序列被记作正确序列. 预知条件下被试反应正确率见表 2, 单因素重复测量的方差分析发现, 转换的正确率(77.4%)与重复的正确率(85.9%)差异显著, $F(1,16)=21.44$, $P<0.01$, 表明任务转换的正确率显著低于任务重复的正确率; 未预知条件下, 转换的正确率(79.7%)与重复的正确率(80.3%)没有显著差异, $F(1,16)=0.56$, $P=0.47$.

预知和未预知条件下任务的平均反应时见表 3. 在未预知条件下, 数-数序列中先行任务的平均反应时(888 ms)与数-词序列中先行任务的平均反应时(898 ms)之间没有显著差异, $F(1,16)=2.63$, $P=0.12$; 词-词序列中先行任务(863 ms)与词-数序列中先行任务(848 ms)之间也没有显著差异, $F(1,16)=3.54$, $P=0.08$. 这种条件下, 被试在执行先行任务时不知即将进行的后继任务是什么, 无法做准备, 因此, 不同

图 1 任务序列示意图(任务混合组部分序列)

表 2 预知和未预知条件下正确反应序列的平均正确率(括号内为标准误)

	数-数	词-词	重复总平均	词-数	数-词	转换总平均
预知	87.4(1.56)	84.3(2.19)	85.9(1.75)	78.5(3.03)	76.4(2.90)	77.4(2.90)
未知	77.3(3.14)	83.2(2.90)	80.3(2.84)	80.0(3.19)	79.3(2.96)	79.7(2.99)

表 3 预知和未预知条件下先行任务与后继任务的平均反应时及转换代价(ms)(括号内为标准误)

		数-数	词-词	词-数	数-词		数	词
预知	先行任务	862(28.05)	842(26.09)	879(26.49)	920(34.28)	转换代价	157(20.70)	139(19.90)
	后继任务	671(21.85)	663(17.85)	828(37.57)	802(34.43)			
未知	先行任务	888(31.06)	863(31.57)	848(27.16)	898(31.09)	转换代价	123(17.51)	125(17.40)
	后继任务	758(26.62)	726(19.74)	880(33.06)	851(29.54)			

序列中相同任务的反应时之间没有显著差异, 表明在数-数序列与数-词序列中先呈现的数是同质的, 词-词序列与词-数序列亦如此, 这与实际相符合。

对于数而言, 预知条件下后继任务转换数的平均反应时(828 ms)显著长于重复数的平均反应时(671 ms), $F(1,16)=57.44$, $P<0.01$, 存在转换代价(157 ms)。未预知条件下后继任务转换数的平均反应时(880 ms)比重复数的平均反应时(758 ms)显著长, $F(1,16)=48.96$, $P<0.01$, 也存在转换代价(123 ms), 且两种条件下数的转换代价间没有显著差异, $F(1,16)=2.92$, $P=0.11$ 。词也有类似结果, 预知条件下后继任务转换词的平均反应时(802 ms)显著长于重复词(663 ms), $F(1,16)=48.91$, $P<0.01$, 存在转换代价(139 ms)。未预知条件下后继任务转换词的平均反应时(851 ms)比重复词的平均反应时(726 ms)显著长, $F(1,16)=51.69$, $P<0.01$, 也存在转换代价(125 ms), 且两种条件下词的转换代价间没有显著差异, $F(1,16)=0.31$, $P=0.59$ 。此外, 预知条件下数的转换代价与词的转换代价无显著差异, $F(1,16)=2.06$, $P=0.17$; 未预知条件下数的转换代价与词的转换代价也无显著差异, $F(1,16)=0.06$, $P=0.81$ 。

对预知条件下先行任务(2个水平: 重复序列、转换序列)和刺激材料(2个水平: 数、词)进行二因素重复测量方差分析, 结果任务类型和刺激材料的交互作用显著, $F(1,16)=4.64$, $P<0.05$ 。进一步简单效应检验发现, 对于数和词, 转换序列的反应时显著长于重复序列的反应时, $P_s<0.01$ 。两种不同任务序列中相同任务的反应时之间存在显著差异, 表明这是由任务序列引起的差异, 即转换序列中后继任务的任务设置对当前任务产生了影响。

2.2 ERP 结果

观察 ERPs 波形, 预知条件下, 任务序列中先行任务(数、词)的 ERPs 曲线特征基本一致。在顶枕位置(PO7 和 PO8)可以观察到一般的视诱发反应 P1(平均潜伏期为 114 ms), N1(平均潜伏期为 166 ms)和 P2(平均潜伏期为 244 ms)。在中央位置(Cz)上, 从大约 322 ms 开始出现振幅较大且持续时间较长的晚期正成分(late positive component, LPC)。后继任务数与词 ERPs 基本特征与先行任务的类似, 在顶枕位置观察到 P1(平均潜伏期为 112 ms), N1(平均潜伏期为 160 ms)和 P2(平均潜伏期为 234 ms)。在 Cz 上, 大约从

328 ms 开始出现 LPC。在未预知条件下, 先行任务的 ERPs 曲线基本特征一致。在顶枕位置观察到 P1(平均潜伏期为 110 ms), N1(平均潜伏期为 166 ms)和 P2(平均潜伏期为 250 ms)。Cz 上大约在 380 ms 开始出现 LPC; 后继任务的 ERPs 曲线基本特征与先行任务类似, 在顶枕位置观察到 P1(平均潜伏期为 112 ms), N1(平均潜伏期为 162 ms)和 P2(平均潜伏期为 228 ms)。在 Cz 上, 大约从 376 ms 开始出现 LPC。

(1) 先行任务的 ERPs。方差分析表明, 对于数, 在预知条件下, 300~400 ms 任务序列与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=3.29$, $P=0.02$ 。进一步的简单效应检验发现, 在额区和中央区重复序列的 ERP 比转换序列的 ERP 更正, 分别是: $F(1,16)=13.92$, $P<0.01$ 和 $F(1,16)=8.64$, $P=0.01$ 。在 400~500 ms, 任务序列与脑区的交互作用及任务序列的主效应都不显著。500~800 ms, 任务序列与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=6.98$, $P<0.01$, 简单效应检验发现, 在前额区、额区、中央区及顶区重复序列的 ERP 比转换序列的 ERP 更正, 分别为: $F(1,16)=4.82$, $P<0.05$; $F(1,16)=30.10$, $P<0.01$; $F(1,16)=34.18$, $P<0.01$ 和 $F(1,16)=5.49$, $P<0.05$ 。而未预知条件下, 重复序列与转换序列在 300~400, 400~500, 500~800 ms, 任务序列与脑区的交互作用不显著, 任务序列的主效应亦不显著。这与 ERPs 波形图和差异波地形图(图 2)的结果基本吻合。

对于词, 通过方差分析发现, 在预知条件下, 重复序列与转换序列的 ERP 差异也是从 300 ms 开始, 在 300~400 ms, 任务序列的主效应边缘显著, $F(1,16)=4.08$, $P=0.06$, 重复序列中词的 ERP 比转换序列中词的 ERP 更正; 而 400~500 及 500~800 ms, 任务序列与脑区的交互作用及任务序列的主效应都未达到显著水平。而未预知条件下, 重复序列与转换序列在 300~400 ms, 任务序列与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=4.13$, $P<0.05$, 但进一步简单效应检验发现, 任务序列在脑区各水平上无显著差异; 在 400~500 和 500~800 ms 时段, 任务序列与脑区的交互作用不显著, 任务序列的主效应亦不显著。因此未预知条件下, 先行任务中, 重复序列与转换序列都无显著差异(图 3)。

观察 ERP 波形的特征可发现, 预知条件下, 在 320 ms 左右, 数的转换序列在 Cz 上产生一个比重复序列更为负走向的波(潜伏期 320 ms), 词也有同样的结果。取 310~330 ms 段振幅的平均值表示 320 ms 的平均振幅(数在重复序列、转换序列的平均振幅分别

图 2 重复序列先行任务数与转换序列先行任务数的 ERP 波形图及差异波地形图

图 3 重复序列先行任务词与转换序列先行任务词的 ERP 波形图及差异波地形图

为 1.02 和 $-0.95 \mu\text{V}$; 词在重复序列、转换序列的平均振幅分别为 0.36 和 $-0.78 \mu\text{V}$, 在 Cz 上对任务序列(2 个水平: 重复序列和转换序列)和刺激材料(2 个水平: 数和词)进行二因素重复测量的方差分析. 结果发现, 任务序列的主效应显著, $F(1,16)=10.23$, $P<0.01$, 说明重复序列产生的平均振幅比转换序列产生的平均振幅更正, 如图 4 所示. 在未预知条件下, 转换序列在 Cz 上产生一个比重复序列更为负走向的波(潜伏期 320 ms), 用数、词的转换序列在中央区(Cz)的 310~330 ms 段平均振幅表示 320 ms 的振幅(数在重复序列、转换序列的平均振幅分别为 -0.01 和 $-0.39 \mu\text{V}$; 词在重复序列、转换序列的平均振幅分别为 -0.62 和 $-0.73 \mu\text{V}$), 在 Cz 上对任务序列(2 个水平: 重复序列和转换序列)和刺激材料(2 个水平: 数和词)进行二因素重复测量的方差分析发现, 交互作用和主效应都不显著(图 4).

(2) 后继任务的 ERPs. 方差分析表明, 重复序列与转换序列中后继任务间的 ERP 差异比重复序列与转换序列中先行任务间差异出现得早. 预知条件下, 数在 250~350 ms 存在显著的任务类型的主效应, $F(1,16)=4.70$, $P<0.05$, 表明重复数的 ERP 比转换数的 ERP 更正; 而 350~500 及 500~800 ms, 任务类型与脑区的交互作用、任务类型的主效应都未达到显著水平. 未预知条件下, 在 250~350, 350~500 及 500~800 ms, 任务类型与脑区的交互作用和任务类型的主效应均不显著. 以上结果与 ERPs 波形图和差异波地形图(图 5)的结果基本吻合.

词在预知条件下 250~350 ms 任务类型与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=3.35$, $P<0.05$, 简单效应检验表明, 在中央区重复词的 ERP 比转换词的 ERP 更正,

图 4 先行任务在 Cz 上的振幅比较
虚轴线左侧为预知条件, 右侧为未预知条件

$F(1,16)=6.60$, $P<0.05$; 在 350~500 ms, 任务类型与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=4.24$, $P<0.05$. 简单效应检验发现, 在中央区重复词的 ERP 比转换词的 ERP 更正, $F(1,16)=4.81$, $P<0.05$; 在 500~800 ms, 亦存在显著的任务类型与脑区的交互作用, $F(4,64)=10.19$, $P<0.01$, 简单效应检验显示, 在中央区和顶区重复词的 ERP 比转换词的 ERP 更正, 分别为 $F(1,16)=17.16$, $P<0.01$; $F(1,16)=5.15$, $P<0.05$ (图 6). 而未预知条件下, 在 250~350 ms, 存在显著的任务类型主效应, $F(1,16)=7.70$, $P<0.05$, 表明在分析的脑区重复词的波幅比转换词的波幅更正; 350~500 ms 任务类型与脑区的交互作用及任务类型的主效应都未达到显著水平; 在 500~800 ms, 任务类型与脑区的交互作用显著, $F(4,64)=3.52$, $P=0.01$, 进一步简单效应检验发现在额区及中央区差异显著, 分别为: $F(1,16)=6.93$, $P<0.05$, $F(1,16)=6.92$, $P<0.05$, 说明在这些脑区重复任务的波幅比转换任务的波幅更正. 因此, 重复词与转换词的差异在早期分布于所有分析的脑区, 在晚期分布于额区和中央区(图 6).

预知条件下, 在 320 ms 左右, 转换数在中央区(Cz)产生比重复数更为负走向的波(潜伏期为 320 ms), 词也有同样的结果. 取 310~330 ms 段的平均振幅表示 320 ms 的振幅(重复数与转换数的平均振幅分别为 2.01 和 $0.70 \mu\text{V}$; 重复词与转换词的平均振幅分别为 1.54 和 $0.19 \mu\text{V}$). 在 Cz 上, 对任务类型(2 个水平: 重复序列和转换序列)和刺激材料(2 个水平: 数和词)进行二因素重复测量的方差分析发现, 任务类型的主效应显著, $F(1,16)=8.59$, $P=0.01$, 说明重复序列产生的波比转换序列产生的波更正(图 7). 未预知条件下, 也是在 320 ms 左右, 转换数、转换词在中央区都产生比重复数、重复词更为负走向的波(潜伏期 320 ms), 取 310~330 ms 段平均振幅表示 320 ms 的振幅(重复数与转换数的平均振幅分别为 1.37 和 $0.24 \mu\text{V}$; 重复词与转换词的平均振幅分别为 1.02 和 $-0.26 \mu\text{V}$), 在 Cz 上, 对任务类型(2 个水平: 重复序列和转换序列)和刺激材料(2 个水平: 数和词)进行两因素重复测量的方差分析发现, 任务类型的主效应显著, $F(1,16)=28.75$, $P<0.01$, 表明重复任务产生的波峰比转换任务产生的波峰更正(图 7).

预知条件下, 在中央区(Cz)320 ms 左右, 先行任务和后继任务的数、词都出现转换序列比重复序列更为负走向的 ERP 波, 差异波为 D-N320(difference

图 5 重复序列后继任务数与转换序列后继任务数的 ERP 波形图及差异波地形图

图 6 重复序列后继任务词与转换序列后继任务词的 ERP 波形图及差异波地形图

图 7 后继任务在 Cz 上的振幅比较
虚轴线左侧为预知条件, 右侧为未预知条件

negative 320), 重复序列比转换序列产生的平均振幅更正; 而未预知条件下, 在中央区(Cz)320 ms 左右, 先行任务数、词的转换序列与重复序列的 ERPs 没有显著差异, 仅后继任务的数、词出现 D-N320. Karayanidis 等人^[31]认为, 差异负波可能反映了认知冲突的执行控制过程. 因此, 任务转换的内源性准备和外源性调节都是认知冲突过程, 其对应的脑电成分为 D-N320. 采用 Curry6.0^[42~44]对预知条件下转换序列与重复序列中先行任务、后继任务差异波的 ERP, 以及未预知条件下转换序列与重复序列中后继任务差异波的 ERP 进行溯源分析(考虑到数与词诱发电位的源接近, 因此把两者 ERP 波合在一起进行定位), 将不同分类的总平均 ERPs 导入具有标准 MRI 头像的 Curry6.0 系统, 用 LORETA 电流密度法和偶极子拟合法在三壳球模型中重建各任务在不同时段的头皮活动源. 根据转换序列与重复序列中先行任务、后继任务的总平均 ERPs, 选取刺激后的时间窗口为 310~330 ms. 溯源分析发现, 在预知条件下, 内源性准备的 D-N320 主要源于左侧颞区的 BA20, 外源性调节的 D-N320 源于右侧顶区的 BA19; 在未预知条件下, 外源性调节的 D-N320 源于左侧额区的 BA47 和右侧额区的 BA10(图 8).

3 讨论

实验的行为结果表明, 在预知和未预知条件下, 转换数/词比重复数/词反应时更长, 错误率更高, 存

在转换代价. 这与以往行为实验的研究结果一致, 反映了转换代价是伴随任务转换所特有的现象. 预知与未预知条件下数的转换代价之间、词的转换代价之间都没有显著差异, 表明转换代价与预知和未预知这两种前提条件无关. 前人的研究^[12]曾发现, 转换代价不受被试本身知识的影响. 预知条件下数与词的转换代价间没有显著差异, 未预知条件下数与词的转换代价也没有显著差异. 这是因为同类材料的转换代价不受材料本身的影响.

先行任务中, 预知条件下重复序列与转换序列数/词的 ERP 在早期的 300~400 ms 出现差异, 而在未预知条件下, 重复序列与转换序列数/词的 ERP 在整个分析时段均无显著差异, 这与任务转换过程中的预知效应一致^[32,45,46], 表明预知转换序列中, 当前任务受到后继任务的任务设置的影响, 两个任务设置之间存在冲突: 被试一方面识别认知加工的对象, 确定当前任务, 另一方面还要主动为即将到来的任务作准备. 因此, 预知条件下有内源性准备, 而未预知条件下没有内源性准备. 同时, 这也暗示着预知任务转换序列中对后继任务的内源性准备可能起始于先行任务的刺激呈现后 300 ms 左右, 而不是在完成了对先行任务的反应之后. 400~500 ms 时段可能是对当前任务的加工, 包括任务设置的建立, 执行反应命令的形成, 因此, 预知条件、未预知条件下数的转换序列与重复序列, 以及词的转换序列与重复序列均无显著差异. 500~800 ms, 预知条件下数的转换序列比重复序列诱发的 ERPs 晚期慢波更为负走向, 未预知条件下数的转换序列和重复序列无显著差异. 而此时段, 预知条件和未预知条件下词的转换序列和重复序列都无显著差异. 这可能是在预知条件下, 数任务转换到词任务与词任务转换到数任务不同, 前者是符号到语义, 而后者是语义到符号.

后继任务的 ERPs 显示, 数的反应仅仅是在预知条件下早期的 250~350 ms 出现任务类型的主效应, 在分析的脑区重复数比转换数的 ERP 更正, 其他时段重复和转换都无显著差异, 未预知条件下所有时段均无显著差异, 可能暗示着数字判断诱发的 ERPs 仅受预知效应的影响. 词的反应有所不同, 在预知条件下, 所有分析时段都出现重复词比转换词的 ERP 更正, 且差异主要分布在中央区和顶区, 即脑区略靠后; 未预知条件下, 在早期和晚期出现重复词比转换词的 ERP 更正, 差异主要分布在额区和中央区, 即脑区略

靠前, 反映了词在预知和未预知条件下加工的神经机制不同。后继任务中, 词在预知和未预知条件下都出现一个重复的任务比转换的任务更大的 P3b 波形(峰值在 600 ms 左右), 且差异显著, 主要在中央区。这与前人众多研究的电生理发现基本一致^[47-51]。P3b 是一个与目标刺激评价相关联的正走向晚成分(300~800 ms)。此成分的振幅是目标评价和加工强度的敏感指标, 它反映着工作记忆的资源状况。重复任务比转换任务更大的正波可能暗示着加工重复的任务有更多可利用的工作记忆资源。但 Goffaux 等人^[30]认为, 重复任务比转换任务诱发更大的 P3b 波可能反映了事件发

生频次的差异而非转换引起的认知资源差异, 这类似旧新效应(old/new effect)。与词的结果不同, 后继任务数的重复与转换虽然也存在 P3b 波, 但差异不显著, 表明 ERP 的 P3b 差异波不是任务转换所特有的成分。本实验中 P3b 差异波仅为词这种材料在晚期波中出现, 反映了在任务转换中存在材料的特异性。同时暗示着含有丰富语义的文字不同于只是一种简单符号的数字, 文字和数的加工可能有着不同的神经机制^[52,53]。在已往的 ERP 研究中, 实验范式相同, 却出现不一致的结果, 材料的特异性可能是其中原因之一。如 Friedman 等人^[54]的 ERP 研究发现, 年轻人仅在转换试

图 8 差异波 D-N320 的溯源分析图

次中出现 P3, 而老年人在转换(switch)、转换前(pre-switch)和无转换(no-switch)试次中均出现 P3.

在中央区, 预知重复序列和转换序列的先行任务数/词、后继任务数/词, 以及未预知重复序列和转换序列的后继任务数/词都存在与认知冲突执行控制对应的 D-N320, 表明任务转换的内源性准备和外源性调节本质上都是认知冲突过程. 对 D-N320 的 Curry 定位显示, 在预知条件下任务转换包括内源性准备和外源性调节, 先后由左侧颞区和右侧顶区负责. 内源性准备激活左侧颞区, 是对语义、概念的加工, 这在生理基础上证实了内源性准备是自上而下的加工. 外源性调节由右侧顶区负责, 反映出预知准备的作用, 使得任务转换可以在皮层低级功能区(顶区)完成. 而未预知条件下任务转换没有预知准备过程, 仅依赖外源性调节, 它需要更广的脑区参与, 并

且由皮层高级功能区(额区)来完成.

4 结论

由实验结果可知, 任务转换的本质是认知冲突过程, 对应的脑电成分为 D-N320. 在预知条件下任务转换先后单独由颞区和顶区负责, 预知准备使得任务转换在低级皮层区完成. 而在未预知条件下任务转换同时激活左侧额区和右侧额区, 任务转换由更广的高级皮层区完成. 反映了人在面临不同的刺激情境时采用灵活方式加工信息的特点; 内源性准备以语义、概念为基础, 是自上而下的加工, 外源性调节对应的脑区在预知和未预知条件下是分离的; 任务转换中存在材料的特异性, ERP 的 P3b 差异波不是任务转换所特有的成分.

参考文献

- 1 Norman D A, Shallice T. Attention to action: willed and automatic control of behavior. In: Davidson R J, Schwartz G E, Shapiro D, eds. *Consciousness and Self Regulation. Advances in Research and Theory*. New York: Plenum Press, 1986. 1-18
- 2 Baddeley A D, Hitch G. Working Memory. In: Bower G A, ed. *The Psychology of Learning and Motivation*. New York: Academic Press, 1974. 47-89
- 3 Allport D A, Styles E A, Hsieh S. Shifting Intentional Set: Exploring the Dynamic Control of Tasks. *Attention and Performance*, XV: Conscious and Nonconscious Information Processing. Cambridge, MA: MIT Press, 1994. 421-452
- 4 Dark V J. Switching between memory and perception: moving attention or moving memory retrieval. *Mem Cogn*, 1990, 18: 119-127
- 5 Rogers R D, Monsell S. Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *J Exp Psychol Gener*, 1995, 124: 207-231
- 6 Meiran N. Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *J Exp Psychol Learn Mem Cognition*, 1996, 22: 1423-1442
- 7 Rubinstein J S, Meyer D E, Evans J E. Executive control of cognitive processes in task switching. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2001, 27: 763-797
- 8 Sohn M, Ursu S, Anderson J R, et al. The role of prefrontal cortex and posterior cortex in task switching. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2000, 97: 13448-13453
- 9 Sdoia S, Ferlazzo F. Stimulus-related inhibition of task set during task switching. *Exp Psychol*, 2008, 55: 322-327
- 10 Cooper S, Mari-Beffa P. The role of response repetition in task switching. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2008, 34: 1198-1211
- 11 Beat M, Woodward T S, Alodie Rey-Mermet, et al. The bivalency effect in task switching: general and enduring. *Can J Exp Psychol*, 2009, 63: 201-210
- 12 Karle J W, Watter S, Shedden J M. Task switching in video game players: benefits of selective attention but not resistance to proactive interference. *Acta Psychol*, 2010, 134: 70-78
- 13 Poljac E, Koch I, Bekkering H. Dissociating restart cost and mixing cost in task switching. *Psychol Res*, 2009, 73: 407-416
- 14 Pantelis C, Fiona Z, Barber, et al. Comparison of set-shifting ability in patients with chronic schizophrenia and frontal lobe damage. *Schizophr Res*, 1999, 37: 251-270
- 15 Rogers R D, Sahakian B J, Hodges J R, et al. Dissociating executive mechanisms of task control following frontal lobe damage and Parkinson's disease. *Brain*, 1998, 121: 815-842
- 16 Keele S W, Rafal R. Deficits of task-set in patients with left prefrontal cortex lesions. In: Monsell S, Driver J S, eds. *Attention and Performance XVIII: Control of Cognitive Processes*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 627-651
- 17 Ulrich M, Jorn D, Richard I, et al. Dissociating task-set selection from task-set inhibition in the prefrontal cortex. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18: 14-21
- 18 Mecklinger A, Cramon D Y, Springer A. Executive control functions in task switching: evidence from brain injured patients. *J Clin Exp*

- Neuropsychol, 1999, 21: 606–619
- 19 Rogers R D, Andrews T C, Grasby P M, et al. Contrasting cortical and subcortical activations produced by attentional-set shifting and reversal learning in human. *J Cogn Neurosci*, 2000, 12: 142–162
- 20 Nagahama Y, Okada T, Katsumi Y, et al. Dissociable mechanisms of attention control within the human prefrontal cortex. *Cereb Cortex*, 2001, 11: 85–92
- 21 Jamadar S, Hughes M, Fulham W R, et al. The spatial and temporal dynamics of anticipatory preparation and response inhibition in task-switching. *NeuroImage*, 2010, 51: 432–449
- 22 Jamadar S, Michie P, Karayanidis F. Compensatory mechanisms underlie intact task-switching performance in schizophrenia. *Neuropsychologia*, 2010, 48: 1305–1323
- 23 Lorist M M, Klein M, Nieuwenhuis S, et al. Mental fatigue and task control: planning and preparation. *Psychophysiology*, 2000, 37: 1–12
- 24 Travers S, West R. Neural correlates of cue retrieval, task set reconfiguration, and rule mapping in the explicit cue task switching paradigm. *Psychophysiology*, 2008, 45: 588–601
- 25 Karayanidis F, Provost A, Brown S, et al. Switch-specific and general preparation map onto different ERP components in a task-switching paradigm. *Psychophysiology*, 2011, 48: 559–568
- 26 Hsieh S, Liu H J. Electrophysiological correlates of task conflicts in task-switching. *Brain Res*, 2008, 1203: 116–125
- 27 Moulden D J A, Picton T W, Meiran N, et al. Event-related potentials for switching between attention task-sets. *Brain Cognition*, 1998, 37: 144–201
- 28 Rushworth M F S, Passingham R E, Nobre A C. Components of switching intentional set. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14: 1139–1150
- 29 Brass M, Ulsperger M, Knoesche T R, et al. Who comes first? The role of the prefrontal and parietal cortex in cognitive control. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17: 1367–1375
- 30 Goffaux P, Phillips N A, Sinai M, et al. Behavioural and electrophysiological measures of task switching during single and mixed-task conditions. *Biol Psychol*, 2006, 72: 278–290
- 31 Karayanidis F, Coltheart M, Michie P T, et al. Electrophysiological correlates of anticipatory and poststimulus components of task switching. *Psychophysiology*, 2003, 40: 329–348
- 32 Nicholson R, Karayanidis F, Poboka D, et al. Electrophysiological correlates of anticipatory task-switching processes. *Psychophysiology*, 2005, 42: 540–554
- 33 Goffaux P, Phillips N A, Sinai M, et al. Neurophysiological measures of task-set switching: effects of working memory and aging. *J Gerontol Psychol Sci*, 2008, 63: 57–66
- 34 Lavric A, Mizon G A, Monsell S. Neurophysiological signature of effective anticipatory task-set control: a task-switching investigation. *Eur J Neurosci*, 2008, 28: 1016–1029
- 35 Hsieh S, Liu H J. Electrophysiological evidence of the adaptive task-set inhibition in task switching. *Brain Res*, 2009, 1255: 122–131
- 36 Karayanidis F, Jamadar S, Ruge H, et al. Advance preparation in task-switching: converging evidence from behavioral, brain activation, and model-based approaches. *Front Psychol*, 2010, 1: 1–13
- 37 Rushworth M F S, Passingham R E, Nobre A C. Components of attentional set-switching. *Exp Psychol*, 2005, 52: 83–98
- 38 Werkle Bergner M, Mecklinger A, et al. The control of memory retrieval: insights from event-related potentials. *Cogn Brain Res*, 2005, 24: 599–614
- 39 李月婷, 李琦, 郭春彦. 内隐和外显记忆测验中相关性差异的 ERP 研究. *科学通报*, 2009, 54: 1902–1911
- 40 郭春彦, 陈文君, 田甜, 等. 提取意向对未再认词提取过程的影响. *科学通报*, 2010, 55: 1831–1838
- 41 Willis M L, Palermo R, Burke D, et al. Switching associations between facial identity and emotional expression: a behavioural and ERP study. *NeuroImage*, 2010, 50: 329–339
- 42 Guo C Y, Duan L, Li W, et al. Distinguishing source memory and item memory: brain potentials at encoding and retrieval. *Brain Res*, 2006, 1118: 142–154
- 43 Guo C Y, Lawson A L, Zhang Q, et al. Brain potentials distinguish new and studied objects during working memory. *Hum Brain Mapp*, 2008, 29: 441–452
- 44 张运红, 郭春彦. 知觉和语义表征关系的 ERP 研究. *科学通报*, 2008, 53: 3086–3095
- 45 Jost Ke, Mayr U, Roler F. Is task switching nothing but cue priming? Evidence from ERPs. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2008, 8: 74–84
- 46 Gajewski P D, Falkenstein M. Diversity of the P3 in the task-switching paradigm. *Brain Res*, 2011, 1411: 87–97
- 47 Johnson J R. P300: a model of the variables controlling its amplitude. *Ann N Y Acad Sci*, 1984, 425: 223–229
- 48 Kramer A, Spinks J A. Capacity views of information processing: central nervous systems measures. In: Jennings J R, Coles M G H, eds.

- Handbook of Cognitive Psychology: Central and Autonomic Nervous System Approaches. New York: Wiley Press, 1991. 179–249
- 49 Polich J, Kok A. Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biol Psychol*, 1995, 41: 103–146
- 50 Kok A. On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 2001, 38: 557–577
- 51 Barcelo F. The Madrid card sorting test (MCST): a task switching paradigm to study executive attention with event-related potentials. *Brain Res Protoc*, 2003, 11: 27–37
- 52 Hans J M. Which brain regions are critically involved in the retrieval of old episodic memory? *Brain Res Rev*, 1995, 21: 117–127
- 53 Sawamura H, Shima K, Tanji J. Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey. *Nature*, 2002, 415: 918–922
- 54 Friedman D, Nessler D, Johnson R, et al. Age-related changes in executive function: an event-related potential (ERP) investigation of task-switching. *Aging Neuropsychol Cognition*, 2008, 15: 95–128

Functional Mechanism of Multiple Cerebral Cortices on Task Switching: an ERP Study

SUN TianYi^{1,2}, XU YuanLi² & GUO ChunYan¹

1 Beijing Key Laboratory of Learning and Cognition and Department of Psychology, College of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2 Department of Psychology, College of Education Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China

This paper aims to investigate the task switching ERPs under the conditions of foreknowledge and non-foreknowledge, by using “task-switching” paradigm and taking the classification of Chinese characters or digits as tasks. Participants performed two tasks consecutively which were either task repetition (AA, BB, ...) or task switching (AB, BA, ...) in the experiment. The results indicated that the predecessor tasks of digit/word and succedent tasks of digit/word all evoked a negative-going wave which was larger for switching trials compared to repeating trials under foreknowledge conditions, and the difference waves in central regions were N-D320. However, under non-foreknowledge conditions, the succedent tasks of digit/word in switching trials evoked a negative-going wave compared to repeating trials only, and the difference waves in central regions were also N-D320. The results of Dipole Source Localization Analysis to difference waves disclosed that the endogenous preparation derived from left temporal region (Left BA20); the exogenous adjustment derived from right parietal region (Right BA19) under foreknowledge conditions while it derived from left frontal region (Left BA47) and right frontal region (Right BA10) under non-foreknowledge conditions. These results suggested that the nature of task switching was cognitive conflict and the corresponding ERP component was D-N320. Under foreknowledge conditions, task switching was solely in charge of temporal and parietal regions successively. It was the advance preparation that made task switching accomplishment in primary cortex, whereas under non-foreknowledge conditions task switching was accomplished in wider senior cortex and activates left frontal region and right frontal region at the same time. The cortex for endogenous preparation and exogenous adjustment was dissociative under foreknowledge and non-foreknowledge conditions.

task switching, endogenous preparation, exogenous adjustment, cognitive conflict, D-N320, ERPs

doi: 10.1360/052011-490