语言控制和一般领域认知控制的脑机制的重合和分离

吴俊杰^{1†}, 刘欢欢^{2,3†}, 芦迪^{1†}, 郭桃梅^{1,4*}

1. 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;
2. 辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心, 大连 116029;
3. 北京师范大学心理学部应用实验心理北京市重点实验室, 北京 100875;
4. 北京师范大学脑与学习协同创新中心, 北京 100875

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: guotm@bnu.edu.cn

收稿日期: 2017-09-19; 接受日期: 2017-11-13; 网络版发表日期: 2018-03-08

国家重点基础研究发展计划(批准号: 2014CB846102)、国家自然科学基金(批准号: 31170970, 31700991)、中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2017XTCX04)、北京师范大学学科交叉建设项目资金、辽宁省自然科学基金(批准号: 20170540579)和应用实验心理北京市重点实验室开放课题资助

摘要 双语者能根据不同的场合和交流对象选择目标语言进行交流. 已有的研究发现, 双语者需要通过抑制控制选择合适的语言. 本研究使用功能性核磁共振(fMRI)技术, 扫描22名汉-英双语者完成语言切换任务和西蒙切换任务时的脑活动状况, 通过联合分析和分离分析的方法, 揭示了双语产生过程中语言控制与一般领域的认知控制的脑机制的重合与分离. 结果发现, 双语产生过程中, 语言控制需要使用一般领域的施加抑制和解除抑制机制. 其中, 语言控制与施加抑制共同涉及了额上回、前辅助运动区/背侧前扣带回、壳核和右侧顶上小叶的活动; 语言控制与解除抑制都需要左侧顶上小叶的参与. 此外发现, 双语控制相比于一般领域的控制, 需要特异性地激活左侧中央后回、左侧颞上回、左侧楔前叶、中后部扣带回、后辅助运动区、右侧颞中回、右侧舌回、右侧缘上回和双侧小脑等脑区, 以发挥与发音动作、词汇提取、语义记忆有关的认知控制功能. 这表明, 语言控制与一般领域的认知控制既存在重合的脑机制, 也存在分离的脑机制.

关键词 双语者, 语言控制, 一般领域控制, fMRI

双语者头脑中存在两套语言系统, 他们可以根据需要选择目标语言. 研究显示, 双语者在产出语言时, 两种语言会平行激活、相互竞争和干扰^[1]. 因此, 相比于单语者, 双语者需要调用语言控制功能选择目标语言^[2]. 但语言控制与一般领域的认知控制(简称一般控

制)之间有怎样的关系一直是研究者们关心的问题^[3-10].

根据抑制控制模型(inhibitory control model)^[11], 双语者需要通过抑制控制对非目标语言进行抑制, 从而顺利地输出目标语言. 越熟练的语言所受到的抑制越

引用格式: 吴俊杰, 刘欢欢, 芦迪, 等. 语言控制和一般领域认知控制的脑机制的重合和分离. 中国科学: 生命科学, 2018, 48: 332-340

Wu J J, Liu H H, Lu D, et al. The neural overlap and dissociation between language control and domain-general cognitive control (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2018, 48: 332-340, doi: 10.1360/N052017-00183

强(施加抑制), 同时受到较强抑制越强的语言再次激活时, 需要花费更多的努力来克服之前对其的抑制(解除抑制). 该理论还认为语言控制是来源于语言系统之外的认知控制^[2,10,11]. 该观点得到了一些证据的支持^[4,5,7,8], 有许多研究发现语言控制表现与一般控制能力的相关关系^[4,5]; 但也有研究并没有发现^[6,9], 甚至还有研究发现二者随年龄增大出现分离的趋势^[9].

来自事件相关电位(event related potential, ERP)和功能核磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的研究发现, 语言控制与一般控制存在部分重合. 已有的ERP研究发现, 双语者在完成语言切换任务时, 大脑前额部分会诱发一个与抑制控制有关的N2成分^[12]. 脑成像研究发现, 语言切换任务调用了多个一般控制所涉及的脑区, 包含背外侧前额叶、前部辅助运动区、前部扣带回、左侧尾状核、右侧额下回^[13-15], 不过, 这些脑成像研究只是将双语任务下激活的脑区, 与前人文献中一般任务下激活的脑区作比较^[4,14-16], 只有少数几个研究^[3,17]在同一批双语者身上直接考察了语言控制和一般控制脑机制的共性和差异. 例如, Weissberger等人^[17]采用语言切换任务和非语言的切换任务, 发现在非切换条件上, 语言切换任务比非语言切换任务引发了更弱的脑激活, 但在切换条件和单语条件上, 两个任务引发的大脑激活没有显著差异. 采用类似的任务, De Baene等人^[3]发现语言控制和一般控制都需要额顶网络, 如左额下联合区、前辅助运动区、背侧扣带回、楔前叶、距状裂; 而语言切换任务, 由于需要语音产出, 会特异性地激活中央前回; 因知觉切换的需要, 非语言任务特异性地激活了背侧前运动区.

需要指出的是, 这些研究没有把一般认知控制进一步区分为施加抑制和解除抑制, 而是把这两个过程看作一个整体. 因此, 尚不清楚不同成分的认知控制机制在语言领域和一般领域的异同. 本研究试图采用语言切换任务和西蒙切换任务, 从施加抑制和解除抑制两个过程, 进一步考察语言控制与一般领域的认知控制(施加抑制和解除抑制)的脑机制的重合与分离.

语言切换任务是考察双语者语言控制的经典范式^[2,4], 被试需要根据不同颜色的线索, 选择中文或者英文对图片进行命名, 通过改变线索使得双语者在两种语言之间来回切换, 其中切换条件与非切换条件的差异被称为“切换代价”. 西蒙切换任务可以很好地

一般控制分离成施加抑制和解除抑制两个过程^[7,8]. 在西蒙切换任务中, 当被试从一致条件切换到冲突条件时, 需要施加抑制; 当被试从冲突条件切换到一致条件时, 需要解除抑制^[7,8]. 使用fMRI技术采集双语者在完成语言切换任务和西蒙切换任务时的脑活动情况, 并通过联合分析(conjunction analyses)和分离分析(disjunction analyses)分别考察语言控制与一般领域的施加抑制(后文简称施加抑制)和一般领域的解除抑制(后文简称解除抑制)的重合和分离的神经机制.

1 方法

1.1 被试

22名汉-英双语者参与了本实验(男性10名), 年龄分布在20~27岁($M=23.14\pm2.43$ 岁). 所有被试均为右利手, 视力或矫正视力正常, 头部无创伤且无与神经功能相关疾病. 被试首次接触英语的平均年龄为 10 ± 2.5 岁, 均通过大学英语四级考试, 平均成绩为 536 ± 46 分, 满分为710分. 被试在阅读、写作、表达、理解四方面对自己的汉语和英语熟练程度进行了评估, 其中1分表示最不熟练, 10分表示最熟练. 汉语和英语的平均自评分数分别为 8.33 ± 0.93 和 5.65 ± 1.29 , 汉语的熟练程度显著高于英语($t(21)=9.56$, $P<0.001$), 表明这批被试是非平衡双语者. 本实验经北京师范大学道德伦理委员会的批准, 所有被试实验前签署了知情同意书, 实验后获得一定的金钱报酬.

1.2 材料和步骤

实验材料共88张黑白线条图, 其中8张用于练习阶段, 均选自Snoddgrass和Vanderwart^[18]的图片库, 中文常模数据来自张清芳和杨玉芳^[19]的研究. 所有图片的中文名称的熟悉度为 4.54 ± 0.40 , 想象一致性为 3.59 ± 0.47 , 视觉复杂度为 2.42 ± 0.70 , 词频为 110.79 ± 203.95 ; 所有图片的英文名称的熟悉度为 3.48 ± 0.95 , 想象一致性为 3.64 ± 0.55 , 视觉复杂度为 2.91 ± 0.89 , 词频为 53.8 ± 123.00 .

在语言切换任务中, 屏幕中央先呈现300 ms的注视点, 接下来是200 ms的空屏, 随后出现一张镶嵌在红色方框或者蓝色方框里的图片, 呈现1 s, 被试根据方框的颜色选择中文或者英文来命名图片, 随后空屏随机呈现1, 2, 3或者4 s. 线索颜色和语言的对应关系

在被试间平衡, 刺激为伪随机呈现. 西蒙切换任务呈现流程与语言切换任务一样, 先在屏幕中央出现200 ms的注视点, 接下来是300 ms的空屏, 随后出现红色箭头或者蓝色箭头, 呈现1 s, 被试根据颜色按下与箭头方向一致的按键(一致条件), 或者与箭头方向相反的按键(冲突条件), 随后空屏随机呈现1, 2, 3或者4 s. 线索颜色与按键规则的对应关系在被试间平衡, 刺激为伪随机呈现.

被试在核磁扫描间依次完成这两个任务, 同时进行扫描他们任务态的脑活动情况. 在两个任务的间隙插入8 min的结构像扫描, 任务顺序在被试间平衡. 语言切换任务和西蒙切换任务都为事件相关设计(ER设计), 每个任务都有两个组(run). 每组持续5分28秒, 包含82个试次(前两个试次为填充刺激). 总共的核磁扫描时间约为40 min.

1.3 数据采集

在北京师范大学脑成像中心使用西门子3.0T磁共振扫描仪采集数据. 在平面回波横向扫描的T2图像上获得功能像, 主要扫描参数如下: TR=2000 ms, TE=20 ms, 翻转角度=90°, 视野(FOV)=200×200 mm², 像素=64×64, 层厚/间隔=4 mm/0.8 mm, 层内分辨率=3.1×3.1 mm². 并收集了T1图像作为结构像, 主要扫描参数如下: TR=2530 ms, TE=3.39 ms, 翻转角度=7°, 视野(FOV)=256×256 mm², 像素=256×256, 层内分辨率=1.3×1.0 mm², 层数=144, 层厚=1.33 mm. 由于每组扫描开始时磁场未达均匀状态, 因此前4张功能图像(对应前两个填充试次)被剔除, 由于核磁内录音设备的限制, 图片命名任务的行为数据在核磁扫描结束后, 请被试回到行为实验室, 采用同样的电脑程序重新采集.

1.4 数据处理

采用SPSS 19.0对行为反应时和正确率分别进行重复测量方差分析. 图片命名任务中, 考察试次类型(非切换, 切换)的主效应. 西蒙转换任务中, 2 (相容性: 一致, 冲突)×2 (试次类型: 切换, 非切换), 考察其主效应及其交互作用, 若出现交互作用, 再进行简单效应分析.

在MATLAB 2012b平台上运行的SPM8软件(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)对fMRI数据进行预处理和后续的统计分析. 预处

理包括图像对齐(slice timing), 参考层为第33层; 头动矫正(realignment), 剔除头动大于2毫米2度的被试; 空间标准变化(normalization), 标准化到蒙特利尔神经研究所空间(Montreal Neurologic Institute, MNI); 和空间平滑(smoothing); 采用半高宽为6 mm的高斯低通滤波器处理. 在一阶分析(1st level)中做以下比较: (i) (语言切换试次vs.语言非切换试次), 得到单个被试语言切换代价, 反映了单个被试语言控制所涉及的脑区; (ii) (一致条件的切换试次vs.一致条件的非切换试次), 得到单个被试一致条件的切换代价, 反映了单个被试解除抑制所涉及的脑区; (iii) (冲突条件的切换试次vs.冲突条件的非切换试次), 得到单个被试冲突条件的切换代价, 反映了单个被试施加抑制所涉及的脑区. 在二阶分析(2nd level)中, 先将所有被试的语言切换代价、一致切换代价和冲突切换代价分别进行组平均, 得到语言控制、解除抑制和施加抑制的脑区, 然后再做以下分析: (i)采用联合分析分别考察语言控制与解除抑制、语言控制与施加抑制的重叠脑区, 检验并拒绝联合分析中的零假设^[20,21], 只有激活都高于阈限的脑区($P_{\text{voxel-wise}} < 0.0005$, 体素数量>10, 经过 α sim $P < 0.05$ 校正)才被认为共同激活; (ii)采用分离分析的方法, 考察语言控制和一般控制相分离的脑区, 只有仅参与语言控制($P_{\text{voxel-wise}} < 0.0005$), 而不参与解除抑制和施加抑制($P_{\text{voxel-wise}} > 0.1$)的脑区(体素数量>10, 经 α sim $P < 0.05$ 校正)才被认为是语言特异性激活的脑区.

2 结果

2.1 行为结果

共有22名被试的数据纳入最终分析. 所有被试在语言切换任务中的平均正确率都高于88%, 其中切换条件和非切换条件平均正确率为96.70%±3.31%, 97.22%±2.94%; 所有被试在西蒙切换任务中的正确率都高于90%, 其中一致切换条件、一致非切换条件、冲突切换条件和冲突非切换条件的平均正确率分别为95.80%±3.57%, 97.73%±4.29%, 96.82%±3.47%和97.16%±3.72%. 去掉所有错误反应和包含绝对(反应时小于300 ms或大于2000 ms)和相对极端值(大于或小于 $\bar{x} \pm 2.5$ 个SD)的试次, 计算出每个条件的平均反应时, 之后分别对反应时与正确率进行方差分析.

语言切换任务中, 试次类型共有两类(切换条件与

非切换条件). 反应时结果: 试次类型主效应显著, $F(1,21)=50.10$, $P<0.05$, $\eta_p^2=0.705$, 切换条件下的命名显著慢于非切换条件下的命名(分别为 905 ± 131 ms和 857 ± 108 ms). 正确率结果: 试次类型主效应不显著, $F(1,21)=1.51$, $P=0.233$, $\eta_p^2=0.067$.

西蒙切换任务中, 进行2 (相容性: 一致条件, 冲突条件) $\times$ 2 (试次类型: 切换, 非切换)的重复测量方差分析, 反应时结果: 相容性主效应显著, $F(1,21)=4.89$, $P<0.05$, $\eta_p^2=0.189$, 一致条件下的命名显著快于冲突条件下的命名(分别为 584 ± 102 ms和 596 ± 94 ms); 试次类型主效应显著, $F(1,21)=38.96$, $P<0.05$, $\eta_p^2=0.650$, 非切换条件下的命名显著快于切换条件下的命名(分别为 573 ± 97 ms和 607 ± 99 ms); 相容性与试次类型交互作用显著, $F(1,21)=57.86$, $P<0.05$, $\eta_p^2=0.734$. 简单效应分析发现: 在一致条件下, 切换条件和非切换条件反应时差异显著, $F(1,21)=125.07$, $P<0.001$, 切换条件比非切换条件反应时更长(分别为 614 ± 105 ms和 553 ± 100 ms); 在冲突条件下, 切换条件和非切换条件反应时差异不显著, $F(1,21)=1.06$, $P=0.315$. 也就是冲突条件下的切换代价(8 ± 35 ms)小于一致条件下的切换代价(62 ± 25 ms). 正确率结果: 主效应和交互作用都不显著, $F(1,21)s<2.85$, $Ps>0.106$, $\eta_p^2s<0.120$.

2.2 脑成像结果

联合分析发现, 语言控制与施加抑制重合的脑区包括双侧额上回、前辅助运动区/背侧前扣带回、双侧壳核和右侧顶上小叶(表1和图1); 语言控制与解除抑制重合的脑区为左侧顶上小叶(表2和图1).

分离分析发现, 语言控制与一般控制存在分离, 一些脑区只在语言切换任务中激活, 而在西蒙切换任务中不激活. 这些脑区包括左侧中央后回、左侧楔前叶、左侧额上回、后部扣带回、后辅助运动区、右侧缘上回、右侧额中回、右侧舌回和双侧小脑(表3和图1).

3 讨论

本研究运用fMRI技术考察了语言控制与一般领域认知控制(施加抑制和解除抑制)的重合和特异性脑机制. 结果显示, 语言控制和施加抑制共同激活额叶-顶叶-皮层下网络, 涉及双侧额上回、辅助运动区、背

外侧前扣带回、双侧壳核和右侧顶上小叶; 语言控制和解除抑制都需要左侧顶上小叶的参与; 语言控制特异性的脑区有左侧中央后回、左侧楔前叶、左侧额上回、中后部扣带回、后辅助运动区、右侧缘上回、右侧额中回、右侧舌回和双侧小脑.

3.1 语言控制与施加抑制重合的脑机制

本研究发现, 语言控制与施加抑制共同激活了额叶-顶叶-皮层下网络, 包含双侧额上回、辅助运动区、背外侧前扣带回、双侧壳核和右侧顶上小叶.

额上回和顶上小叶都与自上而下的注意过程有关^[22]. 额上回可能更多与对目标反应执行过程的注意选择有关, 而顶上小叶可能更多与对目标的感知觉过程的注意切换有关^[23]. 本研究在语言切换任务和西蒙切换任务的施加抑制过程, 都观察到这两个脑区的激活, 表明不管是在语言领域的抑制控制, 还是一般领域的抑制控制, 可能都需要双语者将注意资源投入到与任务相关的注意对象中去(i.e. 对任务线索的察觉和切换, 顶上小叶), 并且选择执行与任务目标相关的动作(i.e. 命名目标语言和执行特定的按键反应, 额上回). 但这一研究结果与De Baene等人^[3]的研究不一致, 他们只在非语言的切换任务中发现了额上回的激活, 而在语言切换中并没有, 可能是因为他们的语言切换任务线索和刺激之间存在时间间隔(本研究没有), 使得被试并没有迫切使用额上回进行注意选择的需求. 而本研究中刺激和线索同时呈现, 可以更好地激发被试调动注意资源, 产出目标语言的.

辅助运动区与抑制功能密切相关, 常常在go/nogo任务中有强烈激活^[24]; 背侧前扣带回, 参与冲突解决和错误检测^[25,26]. Abutalebi等人^[27]让双语者完成语言控制任务和Flanker任务, 发现两个任务共同激活了背侧扣带回和前辅助运动区. Flanker任务是反映被试对干扰信息抑制的经典任务. de Bruin等人^[4]从一般领域的抑制相关脑区中选取前辅助运动区的种子点, 发现该脑区也参与双语者的语言产生. 背侧扣带回和前辅助运动区在语言控制和一般领域的施加抑制中被激活, 可能都发挥着监控错误、抑制干扰和解决冲突的能力.

壳核的激活与认知计划及动作执行有关^[28], 此外, 壳核还是基底神经节的一部分, 在直接和间接的抑制通路中扮演重要角色^[29], 在go/no-go任务中常被激

图 1 语言控制与一般领域认知控制重合和分离的脑区

表 1 语言控制和施加抑制的重合脑区^{a)}

脑区	BA	体素数量	中心点坐标(x, y, z)			T值
左侧额上回	6	23	-18	0	57	4.63
前辅助运动区/背侧前扣带回	6/24/32	223	-12	12	39	5.38
左侧壳核	—	10	-18	15	0	4.06
右侧壳核	13	64	30	21	6	5.42
右侧额上回	6	31	27	-3	57	4.53
右侧顶上小叶	7	12	18	-54	60	4.11

a) $P_{\text{voxel-wise}} < 0.0005$, 体素数量 >10 , 经过 α sim $P < 0.05$ 校正

表 2 语言控制和解除抑制的重合脑区^{a)}

脑区	BA	体素数量	中心点坐标(x, y, z)			T值
左侧顶上小叶	7	11	-12	-72	51	4.44

a) $P_{\text{voxel-wise}} < 0.0005$, 体素数量 >10 , 经过 α sim $P < 0.05$ 校正

活^[30]. 语言的研究发现, 该脑区与语音计划及发音的启动有关^[31], 还有研究者^[32,33]发现该脑区还参与双语控制. Liu等人^[33]和Abutalebi等人^[32]都发现, 双语者在使用非母语的时候会更强地激活壳核. 壳核在语言控制和一般领域的施加抑制中被激活, 可能都发挥着与认知计划、动作抑制相关的功能.

总之, 本研究发现, 语言控制与一般领域的施加抑制共同激活了背侧扣带回、前辅助运动区和壳核, 并发挥着与施加抑制相关的功能.

3.2 语言控制与解除抑制重合的脑机制

语言控制和解除控制共同激活的脑区为左侧顶上小叶. 该脑区在语言切换任务中经常被激活^[34]. 在注意领域的研究中, Mevorach等人^[35]采用重复性经颅磁刺

激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)技术测试健康被试, 发现当刺激右侧顶叶后部时会干扰被试将注意力指向目标物体, 而当刺激左侧顶叶后部时会影响被试将注意力脱离特定的目标物体. 基于此, Abutalebi和Green^[36,37]认为, 左侧顶叶后部可能将注意力从不使用的语言上脱离, 而右侧顶叶可能负责将注意力转向正在使用的语言. Hernandez^[38]使用语言切换任务, 也发现顶上小叶在语言切换条件下被显著地激活, 而且在Wang等人^[34]的研究中, 不仅发现了左侧顶上小叶被激活, 还发现该脑区激活的体素越多造成的切换代价的不对称性(即切换至两种语言所用时间的差异)就越小, 即减少了对优势语言解除抑制的时间.

因此, 本研究发现, 语言控制与一般领域的解除抑

表 3 语言控制特异性脑区^{a)}

脑区	BA	体素数量	中心点坐标(x, y, z)			T值
左侧中央后回	4	20	-33	-30	69	6.64
左侧楔前叶	7	312	-3	-90	39	6.84
左侧颞上回	22	19	-60	-6	6	4.84
左侧小脑	—	12	-36	-48	-51	4.99
后扣带回	31/23	179	0	-39	30	7.26
后辅助运动区	6	24	6	-12	75	4.74
右侧缘上回	40	16	69	-24	24	4.85
右侧颞中回	21	14	63	-42	0	4.49
右侧舌回	18/19	17	27	-87	-21	4.49
右侧小脑	—	16	9	-87	-21	4.96

a) $P_{\text{voxel-wise}} < 0.0005$, 体素数量 > 10 , 经过 α sim $P < 0.05$ 校正

制共同激活了左侧顶上小叶. 这可能表明双语者在语言产生过程中需要使用左侧顶上小叶解除对即将要使用语言的抑制.

3.3 语言控制的特异性脑机制

语言控制除了与一般领域认知控制(施加抑制和解除抑制)存在重合的脑机制外, 还存在特异于语言控制的脑区, 主要包括: 左侧中央后回、左侧颞上回、左侧楔前叶、中后部扣带回、后辅助运动区、右侧颞中回、右侧舌回、右侧缘上回和双侧小脑. 这些脑区只在语言切换任务中激活, 可能与语言控制的一些独特过程有关系.

舌回在阅读和图片命名任务中会被激活^[39], 且可能参与语义加工^[40]. 颞上回、颞中回与语义提取语言流畅性有关^[41,42], 舌回、颞上回和颞中回的在本研究的语言任务中特异性激活, 可能与语言切换需要双语者切换语义和词汇之间联结有关.

已有的研究发现, 左侧中央后回^[43]和双侧小脑^[44]参与发音过程, 而缘上回则与语音加工有关^[45], 它们在语言任务中特异性地激活, 可能与被试在两套语音系统中的切换有关, 而语音控制在西蒙切换任务中也不会发生. 另外, 本研究中还发现, 辅助运动区在语言任务中激活的区域要比在西蒙切换任务中激活的区域更广, 延伸至后辅助运动区, 而这一部分的脑区与动作控制关系紧密^[46], 可能是因为与简单的按键反应相比, 在不同发音系统的语言之间切换, 更需要后辅助运动区参与发音的动作控制过程.

此外, 楔前叶和后扣带回属于默认网络的一部分^[47], 与记忆提取^[48]和故事理解^[49]密切相关, 该脑区特异性地参与双语切换任务, 这可能是由于双语控制操作的对象是语言和词汇, 需要对语义信息加工和记忆进行调控.

总之, 本研究发现, 存在语言控制特异性脑区(左侧中央后回、左侧颞上回、左侧楔前叶、中后部扣带回、后辅助运动区、右侧颞中回、右侧舌回、右侧缘上回和双侧小脑), 发挥着与语言控制属性相关的认知控制功能.

4 结论与展望

本研究以晚期非平衡双语者为研究对象, 通过比较他们完成语言切换任务和西蒙切换任务时的神经活动, 发现语言控制与一般领域的施加抑制和解除抑制存在重合和分离的脑机制. 重合的脑机制主要包括额上回、前辅助运动区/背侧前扣带回、壳核和双侧顶上小叶的活动. 此外发现, 语言控制相比于一般领域的控制, 需要额外激活左侧中央后回、左侧颞上回、左侧楔前叶、中后部扣带回、后辅助运动区、右侧颞中回、右侧舌回、右侧缘上回和双侧小脑等特异性于语言控制的脑区.

需要指出的是, 双语者语言加工机制可能受多种因素影响, 如二语习得年龄、语言熟练程度、语言切换经验、语言类型和语言学习方式等. 今后的研究可以从不同角度深入探讨这些因素的作用.

参考文献

- 1 Guo T, Peng D. Event-related potential evidence for parallel activation of two languages in bilingual speech production. *NeuroReport*, 2006, 17: 1757–1760
- 2 Meuter R F I, Allport A. Bilingual language switching in naming: asymmetrical costs of language selection. *J Memory Language*, 1999, 40: 25–40
- 3 De Baene W, Duyck W, Brass M, et al. Brain circuit for cognitive control is shared by task and language switching. *J Cogn Neurosci*, 2015, 27: 1752–1765
- 4 de Bruin A, Roelofs A, Dijkstra T, et al. Domain-general inhibition areas of the brain are involved in language switching: fMRI evidence from trilingual speakers. *Neuroimage*, 2014, 90: 348–359
- 5 Linck J A, Schwieter J W, Sunderman G. Inhibitory control predicts language switching performance in trilingual speech production. *Bilingualism*, 2012, 15: 651–662
- 6 Calabria M, Hernández M, Martin C D, et al. When the tail counts: the advantage of bilingualism through the ex-gaussian distribution analysis. *Front Psychol*, 2011, 2: 399
- 7 Liu H, Liang L, Dunlap S, et al. The effect of domain-general inhibition-related training on language switching: an ERP study. *Cognition*, 2016, 146: 264–276
- 8 Liu H, Rossi S, Zhou H, et al. Electrophysiological evidence for domain-general inhibitory control during bilingual language switching. *PLoS ONE*, 2014, 9: e110887
- 9 Calabria M, Branzi F M, Marne P, et al. Age-related effects over bilingual language control and executive control. *Bilingualism*, 2013, 18: 65–78
- 10 刘欢欢, 陈宝国. 语言转换的认知及其神经机制. *心理科学*, 2015, 38: 98–103
- 11 Green D W. Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism*, 1998, 1: 67–81
- 12 Jackson G M, Swainson R, Cunningham R, et al. ERP correlates of executive control during repeated language switching. *Bilingualism*, 2001, 4: 169–178
- 13 Hernandez A E, Dapretto M, Mazziotta J, et al. Language switching and language representation in Spanish-English bilinguals: an fMRI study. *Neuroimage*, 2001, 14: 510–520
- 14 Hernandez A E, Martinez A, Kohnert K. In search of the language switch: an fMRI study of picture naming in Spanish-English bilinguals. *Brain Language*, 2000, 73: 421–431
- 15 Wang Y, Xue G, Chen C, et al. Neural bases of asymmetric language switching in second-language learners: an ER-fMRI study. *Neuroimage*, 2007, 35: 862–870
- 16 Guo T, Liu H, Misra M, et al. Local and global inhibition in bilingual word production: fMRI evidence from Chinese-English bilinguals. *Neuroimage*, 2011, 56: 2300–2309
- 17 Weissberger G H, Gollan T H, Bondi M W, et al. Language and task switching in the bilingual brain: bilinguals are staying, not switching, experts. *Neuropsychologia*, 2015, 66: 193–203
- 18 Snodgrass J G, Vanderwart M. A standardized set of 260 pictures: norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *J Exp Psychol Hum Learning Memory*, 1980, 6: 174–215
- 19 张清芳, 杨玉芳. 影响图画命名时间的因素. *心理学报*, 2003, 35: 447–454
- 20 Nichols T, Brett M, Andersson J, et al. Valid conjunction inference with the minimum statistic. *Neuroimage*, 2005, 25: 653–660
- 21 Friston K J, Penny W D, Glaser D E. Conjunction revisited. *Neuroimage*, 2005, 25: 661–667
- 22 Hopfinger J B, Buonocore M H, Mangun G R. The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nat Neurosci*, 2000, 3: 284–291
- 23 Corbetta M, Miezin F M, Shulman G L, et al. A pet study of visuospatial attention. *J Neurosci*, 1993, 13: 1202–1226
- 24 Xue G, Aron A R, Poldrack R A. Common neural substrates for inhibition of spoken and manual responses. *Cerebral Cortex*, 2008, 18: 1923–1932
- 25 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
- 26 Botvinick M, Nystrom L E, Fissell K, et al. Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 1999, 402: 179–181

- 27 Abutalebi J, Della Rosa P A, Green D W, et al. Bilingualism tunes the anterior cingulate cortex for conflict monitoring. *Cerebral Cortex*, 2012, 22: 2076–2086
- 28 Elsinger C L, Harrington D L, Rao S M. From preparation to online control: reappraisal of neural circuitry mediating internally generated and externally guided actions. *Neuroimage*, 2006, 31: 1177–1187
- 29 Calabresi P, Picconi B, Tozzi A, et al. Direct and indirect pathways of basal ganglia: a critical reappraisal. *Nat Neurosci*, 2014, 17: 1022–1030
- 30 Castellanos F X, Margulies D S, Kelly C, et al. Cingulate-precuneus interactions: a new locus of dysfunction in adult attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry*, 2008, 63: 332–337
- 31 Booth J R, Wood L, Lu D, et al. The role of the basal ganglia and cerebellum in language processing. *Brain Res*, 2007, 1133: 136–144
- 32 Abutalebi J, Rosa P A D, Castro Gonzaga A K, et al. The role of the left putamen in multilingual language production. *Brain Language*, 2013, 125: 307–315
- 33 Liu H, Hu Z, Guo T, et al. Speaking words in two languages with one brain: neural overlap and dissociation. *Brain Res*, 2010, 1316: 75–82
- 34 Wang Y, Kuhl P K, Chen C, et al. Sustained and transient language control in the bilingual brain. *Neuroimage*, 2009, 47: 414–422
- 35 Mevorach C, Humphreys G W, Shalev L. Opposite biases in salience-based selection for the left and right posterior parietal cortex. *Nat Neurosci*, 2006, 9: 740–742
- 36 Abutalebi J, Green D W. Control mechanisms in bilingual language production: neural evidence from language switching studies. *Lang Cogn Process*, 2008, 23: 557–582
- 37 Abutalebi J, Green D W. Neuroimaging of language control in bilinguals: neural adaptation and reserve. *Bilingualism*, 2016, 19: 689–698
- 38 Hernandez A E. Language switching in the bilingual brain: what's next? *Brain Lang*, 2009, 109: 133–140
- 39 Bookheimer S Y, Zeffiro T A, Blaxton T, et al. Regional cerebral blood flow during object naming and word reading. *Hum Brain Mapp*, 1995, 3: 93–106
- 40 Heath S, McMahon K L, Nickels L, et al. Neural mechanisms underlying the facilitation of naming in aphasia using a semantic task: an fMRI study. *BMC Neurosci*, 2012, 13: 98
- 41 Krug A, Markov V, Krach S, et al. Genetic variation in G72 correlates with brain activation in the right middle temporal gyrus in a verbal fluency task in healthy individuals. *Hum Brain Mapp*, 2011, 32: 118–126
- 42 Braun A R, Guillemin A, Hosey L, et al. The neural organization of discourse: an H215O-PET study of narrative production in English and American sign language. *Brain*, 2001, 124: 2028–2044
- 43 Murtha S, Chertkow H, Beauregard M, et al. The neural substrate of picture naming. *J Cogn Neurosci*, 1999, 11: 399–423
- 44 Ackermann H, Wildgruber D, Daum I, et al. Does the cerebellum contribute to cognitive aspects of speech production? A functional magnetic resonance imaging (fMRI) study in humans. *Neurosci Lett*, 1998, 247: 187–190
- 45 Hartwigsen G, Baumgaertner A, Price C J, et al. Phonological decisions require both the left and right supramarginal gyri. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107: 16494–16499
- 46 Hertrich I, Dietrich S, Ackermann H. The role of the supplementary motor area for speech and language processing. *Neurosci Biobehav Rev*, 2016, 68: 602–610
- 47 Buckner R L, Andrews-Hanna J R, Schacter D L. The brain's default network. *Ann New York Acad Sci*, 2008, 1124: 1–38
- 48 Cavanna A E, Trimble M R. The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 2006, 129: 564–583
- 49 Honey C J, Thompson C R, Lerner Y, et al. Not lost in translation: neural responses shared across languages. *J Neurosci*, 2012, 32: 15277–15283

The neural overlap and dissociation between language control and domain-general cognitive control

WU JunJie¹, LIU HuanHuan^{2,3}, LU Di¹ & GUO TaoMei^{1,4}

1 State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2 Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

3 Beijing Key Lab of Applied Experimental Psychology, Faculty of Psychology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

4 Center for Collaboration and Innovation in Brain and Learning Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Bilinguals are able to use two different languages according to the context. It has been argued that bilinguals need to select the target language by using inhibitory control. The present study employed functional magnetic resonance imaging (fMRI) technique to detect the brain activity of 22 Chinese-English bilinguals who completed a language switching task and the Simon switching task. By conjunction and disjunction analyses, we revealed the neural overlap and dissociation between language control and domain-general cognitive control. The result shows that language control recruits domain-general cognitive control, including exerting and releasing inhibition. Language control and the inhibition exerting share a large spread of areas, including the superior frontal gyrus, pre-supplementary motor area/dorsal anterior cingulate cortex, putamen, and right superior parietal lobe; language control and the inhibition releasing share the left superior parietal lobe. Independent of domain-general cognitive control, language control recruits the left postcentral gyrus, left superior temporal gyrus, left precuneus, post cingulate cortex, supplementary motor area proper, right middle temporal gyrus, right lingual gyrus, right supramarginal gyrus and bilateral cerebellum, which are related to the control of articulation, lexical selection and semantic memory. This indicates that there is neural overlap and dissociation between language control and domain-general cognitive control.

bilingualism, language control, domain-general cognitive control, fMRI

doi: [10.1360/N052017-00183](https://doi.org/10.1360/N052017-00183)