

The Influence of Bilingualism on the Brain Mechanism of the Executive Control

Shuhua Li¹, Chunyan Kang¹, Zhaoqi Zhang¹, Qiming Yuan², Taomei Guo¹

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

²School of Psychology, Northeast Normal University, Changchun Jilin

Email: guotm@bnu.edu.cn

Received: Dec. 2nd, 2018; accepted: Dec. 14th, 2018; published: Dec. 21st, 2018

Abstract

In recent years, a large number of studies have examined the impact of bilingualism on individual executive control function. We reviewed some recent studies that have examined the influence of bilingualism on the brain plasticity from aspects of time course and the spatial location. We noted that relevant event-related potential studies were no longer limited to answer whether bilingual advantage in cognitive control exists or not, but rather focused on the potential differences between bilinguals and monolingual counterparts in different cognitive control processes. Specifically, previous studies mainly found differences in the amplitude and latency of N2 and P3 component between bilinguals and monolinguals, indicating that bilingualism affected the processes of conflict monitoring, stimulus categorization and cognitive resource allocation. The relevant magnetic resonance imaging (MRI) studies revealed differences in brain structures (e.g., the gray matter volume and the white matter integrity) and functions (e.g., the activation in task state and network connection among brain regions) between bilinguals and monolinguals again suggesting that bilingualism did have an impact on individuals' executive control function. Lastly, we put forward some open questions for future studies.

Keywords

Bilingualism, Executive Control, Brain Plasticity

双语经验对执行控制功能脑机制的影响

李姝桦¹, 康春燕¹, 张兆祺¹, 苑启明², 郭桃梅¹

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

²东北师范大学, 心理学院, 吉林 长春

Email: guotm@bnu.edu.cn

收稿日期: 2018年12月2日; 录用日期: 2018年12月14日; 发布日期: 2018年12月21日

文章引用: 李姝桦, 康春燕, 张兆祺, 苑启明, 郭桃梅(2018). 双语经验对执行控制功能脑机制的影响. *心理学进展*, 8(12), 1855-1867. DOI: 10.12677/ap.2018.812216

摘要

近年来,有大量研究考察了双语经验对个体执行控制功能脑机制的影响。为了总结已有的研究成果,本文从时间进程和空间位置两个方面分析、整理双语经验对大脑可塑性影响的发现。我们注意到,有关的事件相关电位研究不再局限于回答双语优势是否存在,而是关注双语者和单语者在不同的认知控制加工过程中可能存在的差异。已有的研究主要发现,双语者和单语者在N2和P3的波幅和潜伏期上都存在差异,说明双语经验影响了冲突监控、刺激分类以及认知资源分配等过程。有关的磁共振成像研究在脑区的灰质体积、白质完整性、任务态激活水平和脑网络连接等方面都发现了双语者与单语者在大脑的结构和功能上的差异,表明双语经验对个体的执行控制功能产生了影响。最后,本文对已有研究中存在的问题和未来研究方向进行了思考和展望。

关键词

双语经验, 执行控制, 大脑可塑性

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球化的发展,越来越多的人在日常生活中使用两种或多种语言,这些人被称为双语者或多语者。与单语者相比,双语者经常需要处理两种语言的信息,在两种语言之间进行转换,这些过程需要执行控制功能的参与,因此长期的双语经验可能会对一般执行控制功能产生一定的影响(Bialystok, Craik, & Luk, 2008)。

近年来,越来越多的研究关注双语经验对双语者执行控制功能的影响(Bialystok, 2009)。一些行为研究发现,在完成非语言的执行功能任务时,特别是冲突控制任务(如 Simon 任务, Flanker 任务, Stroop 任务),双语者比单语者表现出更小的冲突效应(不一致条件与一致条件之间的差异),体现出双语优势(如 Bialystok, Craik, Klein, & Viswanathan, 2004; Costa, Hernández, & Sebastián-Gallés, 2008; Martinrhee, 2008)。Bialystok 等人(2004)还发现,随着年龄的增长这种优势越发明显。然而,也有一些行为研究没有发现双语者与单语者在某些执行控制任务上的差异(Paap, Johnson, & Sawi, 2015)。

与行为研究相比,脑成像研究能够更敏感地捕捉到大脑的可塑性变化(Mclaughlin, Osterhout, & Kim, 2004)。已有研究利用事件相关电位(event related potential, ERP)技术和功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术,比较双语者和单语者在完成执行控制任务时的时间进程和脑机制,探讨双语经验对大脑可塑性的影响。本文在总结相关研究的基础上,试图发现和解释双语者和单语者在执行控制神经机制上的差异。

2. ERP 研究

为了揭示双语经验对双语者执行控制功能的影响,有研究运用时间分辨率较高的 ERP 技术考察双语者与单语者完成执行控制任务的时间进程上的差异。这些研究采用不同冲突来源的认知控制任务来比较双语者与单语者在 N2 成分和 P3 成分的波幅和潜伏期上的差异。N2 是出现在刺激呈现后 200~350 ms 的

负成分, 主要分布在大脑皮层的额叶-中部区域, 与冲突监控或者反应抑制有关(Falkenstein, Hoormann, & Hohnsbein, 1999; Folstein & Van Petten 2010; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004)。P3 是出现在刺激呈现后 300~600 ms 的正成分, 主要分布在皮层的中部-顶叶区域, 与刺激分类、资源分配、备选反应适宜性的监控有关(Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977; Liotti, Pliszka, Perez, Kothmann, & Woldorff, 2005; Polich, 2007)。Kousaie 和 Phillips (2012)采用 Simon、Stroop 和 Flanker 任务对比年轻单语者和双语者在干扰抑制上的差异。这三种任务都是测量干扰抑制, 但是冲突的来源不同, Simon 任务的冲突来源于无关的空间信息干扰(Simon & Rudell, 1967)。被试需要对不同颜色的色块进行按键反应, 色块随机出现在屏幕左、中和右三个位置, 色块的空间位置影响被试的反应。Stroop 任务的冲突来源于刺激本身的语义干扰(Stroop, 1935)。被试对所呈现字词的书写颜色进行命名, 字词本身的语义指代的颜色会干扰书写颜色。Flanker 任务的冲突来源于分心刺激对反应的干扰(Eriksen & Eriksen, 1974)。Flanker 任务的刺激通常由中央靶刺激和两侧分心刺激组成, 被试的任务是对中央刺激进行反应。行为结果表明, 两组被试在三种任务的表现上无显著差异, 作者认为这可能由于被试是处于认知顶峰水平的成年人。然而, 脑电分析发现, 与单语者相比, 1) 在 Stroop 任务的不一致条件下, 双语者的 N2 波幅更小, 该结果没有证明双语者有更强的冲突监控, 不过可能更擅长选择性注意相关信息。2) 在 Flanker 任务的不一致条件下, 双语者的 P3 潜伏期更短, 同样说明双语者可以更迅速地进行刺激分类。3) 在 Simon 任务的不一致条件下, 双语者的 P3 波幅更小。也就是说, 与单语者相比, 双语者需要更多注意资源。研究者认为单语者在完成该任务时可能存在优势。这些 ERP 结果表明, 单语者和双语者在 Stroop 任务的冲突监控过程、Flanker 任务的刺激分类过程、以及 Simon 任务的资源分配过程上存在显著差异。

Go/No-Go 是研究反应抑制的主要范式之一(如 Benikos, Johnstone, & Roodenrys, 2013; Jodo & Inoue, 1990)。一般地, 被试需要对某些经常出现的刺激作反应(go 条件), 而不对另外一些偶尔出现的刺激作反应(nogo 条件)。Fernandez 等人(2013)和 Moreno 等人(2014)都采用该任务考察了双语者和单语者的反应抑制能力差异, 都没有发现行为的差异, 但是在 nogo 条件下, 双语者比单语者产生更大幅度的 N2, 说明双语者的反应抑制更强。除了横断研究, Sullivan 等人(2014)还利用纵向研究, 以单语者为被试考察短期二语学习能否对执行控制产生早期的影响。研究包括训练组和控制组。其中, 训练组进行 6 个月西班牙语入门学习, 而控制组进行 6 个月心理学入门学习。行为结果显示, 两组被试的前后测都没有显著差异。有趣的是, ERP 结果显示, 与前测相比, 训练组后测 P3 波幅增大, 而控制组没有这样的变化, 研究者认为这些结果表明训练组在执行控制上出现变化, 二语学习可以提高被试的执行控制能力, 但是没有明确说明 P3 代表的具体过程。

还有研究者将抑制控制分为主动性控制和反应性控制, Morales 及其同事(2015)还采用连续反应任务(英文全称, CPT)的变式 AX-CPT 任务探究双语经验对两种控制的影响。该任务包括 4 种条件: AX、AY、BX 和 BY, 出现的比例分别为 70%、10%、10%和 10%。每种条件包括一个线索和一个探测刺激, 其中 A 是目标线索, X 是目标刺激、B 是非目标线索、Y 是非目标刺激。被试需要对目标线索 A 后的目标刺激 X 做是反应, 而对其余条件做否反应。其中, 当目标线索 A 后出现非目标刺激 Y 时(10%), 被试需要反应性抑制做是反应的冲动, 进而做出否反应。研究者认为线索阶段的 P3 与主动性控制有关; 刺激阶段的 N2 和刺激阶段的 P3 与反应性控制有关, 前者反映冲突监控, 后者反映反应抑制。研究结果表明, 相对于单语者, 双语者 BX 条件错误率更低, 但两组的线索阶段的 P3 无显著差异; 在完成 AY 条件时, 双语者错误率更低, 刺激阶段的 N2 波幅更大, 刺激阶段的 P3 波幅更大。这些结果表明, 双语者在反应性控制上存在优势。需要注意的是, 以上的研究都没有发现行为上的差异, 这可能都是以年轻或者中年单语者和双语者为被试。针对老年人的研究主张, 双语经验可能会对认知老化起到缓冲的作用(Bialystok, Martin, & Viswanathan, 2005)。Kousaie 和 Phillips (2017)发现终身双语经验导致双语者在 Stroop 任务不一

致条件下的反应时和错误率以及在 Flanker 任务中的错误率显著低于单语者。脑电结果发现, 相对于单语者, 1) 在 Stroop 任务不一致条件下, 双语者的 N2 潜伏期更短, P3 波幅更大; 2) 在 Simon 任务中, 双语者的 N2 波幅更小, P3 波幅更大, 此外, 在不一致条件下, 双语者的 P3 潜伏期更短; 3) 在 Flanker 任务的不一致条件下, 双语者的 N2 潜伏期更短, 此外, 在一致条件下, P3 潜伏期更短。这些结果表明, 与同龄单语者相比, 老年双语者在 Stroop 任务上的行为表现更好、冲突监控更迅速、需要分配的注意资源也更少; 在 Simon 任务上表现出更高效的冲突监控、较少的资源分配和更迅速的刺激分类; 在 Flanker 任务上也出现行为、冲突监控和刺激分类方面的优势。

总之, 近年来的 ERP 研究主要从执行控制机制方面对不同年龄段的成人双语者和单语者进行了对比。通过这些 ERP 研究, 我们可以看出, 研究者不再局限于关注双语优势是否存在, 而是转而关注单语者和双语者在不同的认知任务的不同加工过程中可能存在的差异。即使行为上没有出现“双语优势”, 时间分辨率更高的 ERP 技术还是能探查到两组人在执行控制过程中的差异, 说明双语经验确实能对个体的执行控制能力产生一定的影响, 而且这种影响和任务有关。此外, 在完成某些任务时, 不仅不存在“双语优势”, 甚至可能出现“单语优势”。因此, 我们认为相对于“双语优势”而言, “双语差异”可以更加准确地概括这些结果。

3. FMRI 研究

除了时间进程, 研究者们还利用脑成像技术从空间进程的角度探讨了双语经验对大脑执行控制结构、功能以及脑区内连接的可塑性影响。

首先, 有些研究考察了双语者与单语者在大脑结构方面的差异。这些研究专门针对一些在注意任务中发挥重要作用的脑区的白质密度或者灰质体积进行分析, 希望找到双语经验影响的证据。例如, Luk 等人(2011)对比了早期熟练老年双语者与单语者的白质密度差异。结果发现, 相对于单语者而言, 双语者的胼胝体、双侧纵向纤维束的上部以及右侧前额-枕纤维束和钩束的前部的白质完整性较高。还有研究者考察了终生双语经验对灰质体积的影响。两篇研究结果分别发现, 双语者双侧顶下小叶、扣带回前部的灰质体积增大, 而顶下小叶和扣带回在许多语言任务和注意任务中都发挥着重要角色(Abutalebi, Canini, Rosa, Green, & Weekes, 2015; Abutalebi et al., 2015)。除了以正常老年人为被试, Schweizer 等人(2012)以阿尔兹海默症(Alzheimer's disease, AD, 即老年痴呆)患者为被试进一步验证双语经验对大脑的保护作用。基于前人研究发现正常人和 AD 患者内侧颞叶萎缩程度有显著差异, 他们假设相对于认知功能相同、痴呆程度相同的 AD 单语者, AD 双语者颞叶内侧萎缩程度更大, 而二者在颞叶前部和中部的萎缩程度没有差异。结果发现, 与单语 AD 患者相比, 双语 AD 患者的颞叶内侧有更大的萎缩, 但两组被试的行为没有差异。已有的行为研究发现双语经历使 AD 症状延迟 4~5 年才表现出来, 这可能说明双语经历有着认知保护的作用。除了比较双语者和单语者, 研究者还进一步探究了不同双语经验的大脑执行控制的影响。Mechelli 等人(2004)不仅发现双语者在双侧顶下小叶上的灰质密度显著大于单语者, 早期双语者(AOA < 5)同样也在双侧顶下小叶的灰质密度显著大于晚期双语者(10 < AOA < 15)。除了横向研究, 一些研究者试图采用纵向研究, 在一组被试中考察双语经验对于认知控制的影响, 更好地排除其他因素对认知控制能力的影响。Stein 等人(2004)发现被试在瑞士学习 5 个月的德语后左侧额下回和左侧颞叶前部的灰质体积增加, 但是由于缺乏控制组, 没法很好证明这就是双语经验的影响。Schlegel 等人(2012)把 27 名英语母语者随机分成两组, 实验组学习 9 个月的普通话, 控制组什么都不学, 主要在实验组发现额叶与胼胝体膝部相交的白质纤维束等 10 个纤维束完整性更高, 作者认为结构可塑性在成人语言学习中扮演重要作用, 通过髓鞘化改变白质结构从而扩大语言学习网络的功能, 其中额叶和尾状核的变化支持前人研究语言学习需要控制网络的发展来调节语言切换。

但并不是所有结果都支持双语优势的观点。Zou 等人(2012)以晚期高熟的中年手语-口语双语者人和口语单语者为被试,发现与单语者相比,双语者的左侧尾状核灰质体积增大。但是 Olulade 等人(2016)发现相比于青年单语者,早期高熟的青年手语-口语双语者没有灰质体积较大的区域,这表明不同双语经验对大脑执行控制结构的影响可能不同。研究者倾向于将体积增大认为是优势的体现,可是 Olulade 等人发现相比于单语者,单通道双语者左侧枕中回、右侧颞上回、双侧中央前回、双侧额中回的灰质体积较大,但是相比于单通道双语者,单语者左侧小脑、双侧旁海马回、右侧颞中回的灰质体积较大,其中额叶和小脑都是和执行控制有关的脑区。此外 Gold 等人(2013)比较了老年双语者和老年单语者,却没有发现灰质体积有显著差异。为了更准确解释脑结构变化的意义,研究者应该将行为和脑指标做相关。

其次,除了结构方面可能的差异,双语经验对大脑功能的可塑性也引起了广泛的关注。研究者让被试完成某种执行控制任务,对比单语者和双语者任务态脑激活。一些研究采用任务切换任务,例如 Garbin 等人(2010)以西班牙语-加泰罗尼亚语双语大学生和西班牙语单语大学生为对象,对两组被试在完成切换任务时的脑机制进行了比较研究。在该研究中,被试需要根据线索确定是对颜色进行判断还是对形状进行判断。行为结果发现双语者比单语者表现出较小的切换代价。脑成像的结果发现,更小的切换代价在双语者身上表现为左侧前额叶以及纹状体区域更强的激活,而在单语者身上表现为右侧前额叶更强的活动。

Aina (2013)也考察了加泰罗尼亚语-西班牙语双语者与西班牙单语者在完成任务切换时的差异。但是行为结果没有发现组间差异。脑成像的结果显示,在双语者中,任务切换比任务重复更多地激活了双侧尾状核头部、双侧扣带回、双侧额下回、双侧额中回;在单语者中,任务切换比任务重复更多地激活了双侧基底节(尾状核和苍白球)和左侧额下回。而且双语者比单语者更强烈地激活了左侧额下回和左侧尾状核。尽管这两篇研究结果有差异,这可能是由于任务的不同导致的,但是都证明了长期的双语经验使双语者在完成非语言的控制任务时语言控制相关的区域也起到了作用。双语者经常使用两种语言,这种经验导致在执行非语言的控制任务时,与语言控制有关的脑区的参与度增强。

Luk 等人(2010)以英语单语者和英语-X 语双语者为被试(第二语言类型不受限),采用设置了 nogo 条件的 Flanker 任务,探讨了两组人在完成该任务时的脑机制差异。行为结果没有发现两组被试的显著差异。而脑成像的结果发现,单语者的 Flanker 效应主要表现在左侧颞极、左侧顶上区域等脑区,而双语者的 Flanker 效应主要表现在双侧额叶、颞叶、以及一些皮层下区域。Abutalebi (2012)以熟练的德语-意大利语双语者和意大利语单语者为对象。行为结果没有发现两组被试在 Flanker 效应上的显著差异。但是,在 Flanker 任务的第二个模块中,双语者的 Flanker 效应显著减小,反映了更好的冲突适应性。在 Flanker 效应(冲突效应)的脑激活上,双语者的主要相关激活脑区有双侧前扣带回和左侧前辅助运动区等,而单语者则包括更广泛的激活区域;与单语者相比,双语者的 Flanker 行为效应和前扣带回的灰质密度等参数有更显著的相关关系,说明双语者比单语者更依赖于前扣带回来完成认知控制任务,这又进一步证明了前扣带回在双语者完成语言控制和非语言冲突控制时的作用。

还有研究者采用 Simon 任务, Bialystok 等(2005)采用 MEG (magnetoencephalogram)技术,考察了法语-英语双语者、粤语-英语双语者以及英语单语者在完成 Simon 任务时脑机制的差异。行为上没有发现双语者在冲突控制上的显著优势。通过对 MEG 数据的分析发现,三组被试 Simon 效应相关的激活脑区都包括左侧前额叶、中侧前额叶以及前扣带回等和冲突控制相关的脑区,双语者脑区活动模式更相似,表现出更快的反应时与左脑的上部和中部颞叶、扣带回和上部下部额叶区域相关;单语者表现出更快的反应时与额中回有关。研究者们认为,这是双语控制的经验造成系统性的额叶执行功能变化。

尽管以上研究在脑激活上发现了双语经验影响执行控制的证据,但是行为上却没有发现组间差异。这可能是由于年轻人处于认知巅峰时期,这种双语经验还没有到达可以影响认知的状态。随着年龄的增

长, 认知控制会显著的下降。使得这种影响表现出来, 因此 Gold 等人(2013)采用任务切换任务考察了双语经验以及年龄因素对执行控制功能脑机制的影响。结果发现, 相比于老年单语者, 老年双语者切换代价比率更小, 但是年轻组没有显著差异。脑成像的结果显示, 对于老年人而言, 随着脑区激活增加, 行为的表现切换代价增大。也就是说, 脑区激活越弱, 切换代价越小, 行为表现就会越好。研究者认为年轻人处于认知巅峰时期, 这种双语经验还没有到达可以影响认知的状态, 随着年龄的增长, 认知控制会显著的下降。终身双语或者从孩童时期在日常生活中说两种语言, 可以使得在认知控制过程中, 这种和年龄相关的下降衰减的缓慢一些, 加强一般执行控制系统, 使得神经效率得到提高, 越少的激活带来更好的表现, 所以老年人比年轻人表现出更大的抑制控制优势, 年轻人里没有表现出双语优势。

由此得出, 双语者和单语者大脑执行控制脑区的激活存在差异, 但是和脑电研究类似, 只有少数研究发现了行为水平的组间差异, 我们觉得原因有以下几点: 首先和任务有关。难度不同、冲突来源不同的任务有不同的结果, 例如一些研究在切换任务中发现双语差异, 但没有在 Simon 中发现, 这可能是由于 Simon 任务太简单导致的。同样的, Kousaie 和 Phillips (2017)采用 ERP 技术发现老年双语者和单语者在 Stroop 和 Flanker 任务的反应时正确率有差异, 但是 Simon 任务行为表现相同。此外, 行为指标和被试类型也会有影响, Gold 等人(2013)没有在反应时和正确率上发现双语差异, 但是在切换代价比率发现了差异。由于处于认知巅峰时期, 双语经验还没有达到可以影响年轻人认知的状态, 因此行为上难以表现出组间差异, 而老年人随着年龄的增长, 双语经验可能表现出减缓老化的影响, 这一点在脑电研究中也得到证实 Kousaie 和 Phillips (2017)。最后, 一些其他因素可能会弥补双语者和单语者的表现, 例如 Ansaldo 及其同事(2015)认为两组被试的受教育水平较高可能是没有发现差异的原因之一, 已有研究发现某些生活方式和社会经济地位也可能利于老年人的认知表现, 成就老年生活。以上研究已经证明双语经验影响大脑的功能, 今后的研究应从以上几种可能原因进一步挖掘大脑的可塑性。

以上研究发现双语者和单语者在多个脑区存在差异, 表明双语经验可能对大脑功能网络产生影响, 因此近几年, 有些研究者还专门分析了双语者与单语者大脑功能网络的差异。例如, García-Pentón 等人(2014)发现年轻单语者和早期高熟双语者在两个子网络的连接上的差异。其中一个子网络包括左侧额叶和顶/颞区, 另一个子网络包括左侧顶/颞区和右侧额下回。具体地, 该研究发现与单语者相比, 双语者这两个子网络之间的连接效率更高, 说明双语经验会改变大脑的解剖连接。子网络内部效率与全脑效率的负相关, 可能是双语劣势的原因。

Grady 等人(2015)考察了终生双语经验对执行控制相关脑网络激活的影响。被试为老年单语者和早期高熟双语者, 选取了 3 个执行控制相关的脑网络: 额枕控制网络、显著网络和默认网络。其中, 额枕控制网络和显著网络在一些执行控制任务中常会被激活, 前者负责控制其他脑网络的参与, 后者负责整合内部的感觉信息; 默认网络在这些任务条件下的激活程度明显下降, 而在静息注视条件下的激活反而增加。结果发现, 相对于单语者, 双语者的默认网络和额枕控制网络有更强的功能连接; 双语者额枕控制网络功能连接和任务状态下前额叶、顶叶的激活程度有更大的相关。作者还提出模型, 认为终生的双语经验增强功能连接, 进而影响脑网络的激活, 支持了老年双语者在执行控制方面的优势。

Luk 等人(2011)也认为持久的双语经历会导致白质完整性的增强, 进而导致双语者完成认知控制任务时有更出色的表现, 并以老年人作为被试通过两个实验证明了该假设。实验一采用 DIT 技术发现相对于单语者而言, 年老的双语者白质之间连接更强; 实验二发现双语者白质之间连接性越强, 与连接性较强的白质附近的前额叶建立功能连接的脑区就越多, 具体来讲, 单语者左侧额下回和额叶的其他脑区(如右侧额上回、双侧额中回等)有功能连接, 双语者左侧额下回与双侧额中回、右侧顶下小叶、楔前叶、双侧枕中回、左侧扣带回有着更强的功能连接。

除了横向研究, Hosoda et al. (2013)还进行了追踪研究, 探讨了成年人的 14 周的二语学习和右脑网络

(额下回岛盖部-尾状核-颞上回/颞中回)发生改变的关系。研究发现右侧额下回岛盖部灰质体积、FA 值以及右侧额下回岛盖部与尾状核的连接强度和二语提升量成正相关。成人二语的习得使得右侧大脑结构发生变化,但学习者逐渐淡忘二语后,大脑结构又恢复到原来状态,表现出大脑极强的可塑性。

此外,也有研究探讨了不同通道的双语经验对大脑功能连接模式的塑造作用。例如 Li 等人(2015)对比了手语-口语双语者与口语单语者的控制脑区与语言加工脑区之间的功能连接强度。结果发现,相比于单语者,双通道双语者的背侧前扣带回和其他与说有关语言区(如左侧颞上回)的连接在任务态时更强,而在静息态时更弱。左侧尾状核与手语语言区(左侧颞枕下部,右侧顶上小叶,右侧顶下小叶)的功能连接更强。

Berken (2016)探讨了不同起始学习时间下不同的脑静息态功能连接模式。被试包括同时双语者(从出生起同时学习法语和英语)和顺序双语者(5 岁后开始学习第二语言,一部分被试 L1 为法语,一部分 L1 为英语)。两组双语者均为高熟双语者,每天接触和使用两种语言,仅在习得年龄上存在差异。研究发现:与顺序双语者相比,同时双语者双侧额下回间的连接、额下回与背外侧前额叶、顶下小叶、小脑等语言控制脑区的连接更强。Kousaie et al. (2017)等人也以同时双语者和顺序双语者为被试,结果发现,相比于顺序单语者,同时双语者不仅有着更强的干扰抑制,而且默认网络和注意网络之间有着更大负相关。Liu (2017)及其同事控制了 L2 熟练度,选取了语义、语音和句法三个语言网络,探究 L2 学习时间对静息状态网络的影响,发现相对于晚期双语者(AOA: 6 岁),早期双语者(AOA: 3 岁)语言网络有更高的聚类系数、全局和局部效率,更小的特征路径长度,更强的功能连接,表明学习 L2 的时间影响语言网络的拓扑属性。

4. 总结与展望

综上,已有的研究运用不同的技术考察了双语经验对执行控制功能的时间进程和脑机制的影响,为我们了解双语经验对大脑的塑造作用提供了丰富、全面的证据。ERP 研究细化了抑制控制过程,关注双语经验对不同加工过程的影响,脑成像研究则细化了大脑可塑性,发现双语经验对脑结果、脑区激活连接以及脑网络的影响。尽管关注的侧重点不同,但是两类研究的结果某些程度上互相印证,例如 ERP 结果表明双语经验影响冲突监控、反应抑制和刺激分类等过程,脑成像结果证实了这些脑区的激活和结构有所变化。

已有的 ERP 研究主要发现(见表 1),在完成执行控制任务时,双语者的 N2、P3 成分的波幅更大,潜伏期更短,说明双语者可以更高效地完成冲突监控和反应抑制、更迅速地进行刺激分类和所需的注意资源较少。但也有结果表明相对于单语者,年轻双语者完成 Stroop 任务时 N2 波幅更小,Simon 任务时 P3 波幅更小,年轻双语者完成视觉 go-nogo 任务时 P3 潜伏期更长,老年双语者完成 Simon 任务时 N2 波幅更小,而研究者在讨论部分倾向于将这些与假设不一致的结果解释为双语优势,这表明可能存在双语优势的先验假设。这些 ERP 结果表明双语经验对大脑抑制控制的不同加工过程产生影响,但是这种影响并不像人们认为的一致,而且没有将脑电成分和行为做相关,很难定义是优势还是劣势,因此“双语差异”可以更加准确地概括这些结果。而且双语差异和任务以及被试的双语经验背景有关,也就是说不同的双语经验对不同的抑制控制能力影响不同。有意思的是,研究发现这些脑电成分的发生源主要在前额叶和前扣带回(Mathalon, Whitfield, & Ford, 2003; Veen & Carter, 2002),这与有关的脑成像研究结果是一致的。

脑成像研究主要发现(见表 2),与单语者相比,在完成执行控制任务时(如 Simon、Flanker 和任务转换任务等),双语者更强地激活了左侧前额叶(Aina et al., 2013; Bialystok et al., 2005; Garbin et al., 2010; Gold et al., 2013; Luk et al., 2010)、前扣带回(Abutalebi et al., 2012; Aina et al., 2013; Bialystok et al., 2005)、前辅助运动区(Abutalebi et al., 2012)、尾状核(Aina et al., 2013)等脑区。这些脑区在语言控制中也起到重要作用(Abutalebi et al., 2012; Garbin et al., 2010; Aina et al., 2013)。这说明双语者更依赖于语言控制和非语言

控制的共享脑区来解决非语言的冲突。近期的研究发现, 长期双语经验还塑造着双语者的功能网络, 使网络内部(Berken et al., 2016; Grady et al., 2015; Li et al., 2015)、网络间的连接效率增强(García-Pentón et al., 2014; Kousaie et al., 2017)。在脑结构方面, 与单语者相比, 拥有长期双语经验的双语者(特别是老年双语者)在双侧顶下小叶(Abutalebi et al., 2015)、左侧尾状核(Zou et al., 2012)、双侧额中回、双侧中央前回、右侧颞上回(Olulade et al., 2016)、颞极等脑区的灰质体积较大, 在胼胝体、双侧纵向纤维束的上部以及右侧前额-枕纤维束和钩束的前部的白质完整性更高(Luk et al., 2011)。对老年病人的研究发现, 双语经验可以起到认知保护的作用, 使遭遇更多病变(如更多的脑萎缩)的双语者依然保持一定的正常行为表现(Schweizer et al., 2012)。和 ERP 结果一样, 脑成像研究也出现了一些不一致的结果。例如有研究发现相比于单通道双语者, 单语者相比于单通道双语者, 单语者左侧小脑、双侧旁海马回、右侧颞中回的灰质体积较大, 而双通道双语者没有灰质体积较大的区域; 尽管与单语者相比, 双语者这两个子网络之间的连接效率更高, 但是子网络内部效率与全脑效率负相关。许多研究者将体积增大解释为神经保护, 但是也有研究发现单语者在小脑等执行控制有关脑区的体积变大, 因此还需要将脑指标与行为指标做相关分析。由此可见, 双语经验的确对大脑产生影响, 但是这种影响比较复杂, 很难用优势或者劣势概括。

Table 1. Results and explanations of different tasks

表 1. 不同任务脑电研究的结果和解释

作者(发表年)	被试年龄(岁)	任务	冲突来源	关注成分(反映的认知过程)	发现(双语者比单语者)
Kousaie 等 2012	24.2	Stroop/Simon /Flanker	字词本身读音/无关的空间 信息干扰/分心刺激干扰	N2 (冲突监控) P3 (刺激分类/资源分配)	N2 波幅更小(Stroop) P3 波幅更小(Simon) P3 潜伏期更短 (Stroop & Flanker)
Fernandez 等 2013	21.6	听觉 Go/No-Go	不频繁出现的 nogo 条件	N2 (反应抑制) P3 (认知抑制)	N2 波幅更大 P3 波幅更大
Sullivan 等 2014	20.1	视觉 Go/No-Go	不频繁出现的 nogo 条件	N2 (执行控制) P3 (执行控制有训练效应)	N2 潜伏期更短; P3 波幅更大; P3 潜伏期更短
Moreno 等 2014	23.3	视觉 Go/No-Go	不频繁出现的 nogo 条件	N2 (反应抑制) P3 (备选反应适宜性的监控)	N2 波幅更大 P3 潜伏期更长
Morales 等 2015	23.9	AX-CPT	不频繁出现的条件	线索阶段 P3 (主动性控制) 刺激阶段 N2 和 P3 (反应性控制)	N2 波幅更大 P3 波幅更大
Kousaie 等 2017	69.3	Stroop/Simon /Flanker	字词本身读音/无关的空间 信息干扰/分心刺激干扰	N2 (冲突监控) P3 (刺激分类/资源分配)	N2 波幅更小(Simon) N2 潜伏期更短 (Stroop & Flanker) P3 波幅更大 (Stroop & Simon) P3 潜伏期更短 (Simon & Flanker)

Table 2. Results of different fMRI studies

表 2. 不同脑成像研究的结果

作者(发表年)	被试类型	抑制控制任务	发现(双语者比单语者)
Luk 等 2011	老年单语者和双语者	无	胼胝体、双侧纵向纤维束的上部以及右侧 前额-枕纤维束和钩束的前部的白质完整性较高
Abutalebi 等 2015	老年单语者和双语者	无	双侧顶下小叶灰质体积增大
Abutalebi 等 2015	老年单语者和双语者	无	扣带回前部的灰质体积增大

Continued

Schweizer 等 2012	患有 AD 的老年单语和双语者	无	AD 患者的颞叶内侧有更大的萎缩, 但两组被试的行为没有差异
Mechelli 等 2004	早期双语者和晚期双语者	无	早期双语者在双侧顶下小叶的灰质密度显著大于晚期双语者
Stein 等 2004	英语单语者	无	在瑞士学习 5 个月的德语后左侧额下回和左侧颞叶前部的灰质体积增加
Schlegel 等 2012	英语单语者	无	实验组发现额叶与胼胝体膝部相交的白质纤维束等 10 个纤维束完整性更高
Zou 等 2012	中年手语-口语双语者人和口语单语者	无	左侧尾状核灰质体积增大
Olulade 等 2016	青年双通道双语者、单通道双语者和单语者	无	相比于单语者, 单通道双语者左侧枕中回、右侧颞上回、双侧中央前回、双侧额中回的灰质体积较大; 相比于单通道双语者, 单语者左侧小脑、双侧旁海马回、右侧颞中回的灰质体积较大; 相比于单语者, 双通道双语者没有灰质体积较大的区域; 相比于双通道双语者, 单语者右侧中央前回的灰质体积较大
Garbin 等 2010	青年双语者和单语者	任务切换	更小的切换代价在双语者身上表现为左侧前额叶以及纹状体区域更强的激活, 而在单语者身上表现为右侧前额叶更强的活动
Aina 等 2013	青年双语者和单语者	任务切换	双语者比单语者更强地激活了左侧额下回和左侧尾状核
Luk 等 2010	青年英语单语者和英语-X 语双语者	Flanker 任务	单语者的 Flanker 效应主要表现在左侧颞极、左侧顶上区域等脑区, 而双语者的 Flanker 效应主要表现在双侧额叶、颞叶、以及一些皮层下区域
Abutalebi 等 2012	青年的德语-意大利语双语者和意大利语单语者	Flanker 任务	双语者的 Flanker 效应主要激活脑区有双侧前扣带回和左侧前辅助运动区等, 而单语者则包括更广泛的激活区域; 与单语者相比, 双语者的 Flanker 行为效应和前扣带回的灰质密度等参数有更显著的相关关系
Bialystok 等 2005	青年法语-英语双语者、粤语-英语双语者以及英语单语者	Simon 任务	双语者左脑的上部和中部颞叶、扣带回和上部下部额叶区域与更快反应时相关; 单语者额中回与更快反应时相关
Gold 等 2013	老年单语者和双语者	任务切换	相比于老年单语者, 老年双语者切换代价比率更小, 但是年轻组没有显著差异; 对于老年人而言, 随着脑区激活增加, 行为的表现切换代价增大
Garcia-Pentón 等 2014	青年双语者和单语者	无	与单语者相比, 双语者这两个子网络之间的连接效率更高, 但是子网络内部效率与全脑效率的负相关, 可能是双语劣势的原因。
Grady 等 2015	老年单语者和双语者	Simon 任务	相对于单语者, 双语者的默认网络和额枕控制网络有更强的功能连接; 双语者额枕控制网络功能连接和任务状态下前额叶、顶叶的激活程度有更大的相关
Luk 等 2011	老年单语者和双语者	无	相对于单语者而言, 年老的双语者白质之间连接更强; 双语者白质之间连接性越强, 与连接性较强的白质附近的前额叶建立功能连接的脑区就越多
Hosoda 等 2013	青年日语-英语双语者 (实验一) 青年日语母语者	无	实验一发现额下回岛盖部, 颞上回/颞中回, 尾状核的灰质体积与二语水平呈正相关; 右侧额下回岛盖部和弓状束的白质整合度与二语水平呈正相关; 右侧额下回岛盖部与尾状核的连接强度, 与二语水平呈正相关。实验二发现右侧额下回岛盖部灰质体积、FA 值以及右侧额下回岛盖部与尾状核的连接强度和二语提升量成正相关, 但学习者逐渐淡忘二语后, 大脑结构又恢复到原来状态。
Li 等 2015	中年手语-口语双语者与口语单语者	无	相比于单语者, 双通道双语者的背侧前扣带回和其他与有关语言区(如左侧颞上回)的连接在任务态(图片命名)时更强, 而在静息态时更弱。左侧尾状核与手语语言区(左侧颞枕下部, 右侧顶上小叶, 右侧顶下小叶)的功能连接更强

Continued

Berken 等 2016	青年同时双语者和顺序双语者	无	与顺序双语者相比,同时双语者双侧额下回间的连接、额下回与背外侧前额叶、顶下小叶、小脑等语言控制脑区的连接更强
Kousaie 等 2017	青年同时双语者和顺序双语者	无	相比于顺序单语者,同时双语者不仅有着更强的干扰抑制,而且默认网络和注意网络之间有着更大负相关
Liu 等 2017	青年早期高熟双语者(AOA 为 3 岁)和晚期高熟双语者(AOA 为 6 岁)	无	发现相对于晚期双语者,早期双语者语言网络有更高的聚类系数、全局和局部效率,更小的特征路径长度,更强的功能连接

这些研究绝大部分没有发现两组被试的行为差异,但这不能作为没有双语差异的证据,反而说明双语差异是个复杂的现象,和很多因素有关,需要在特定的条件下才能显现出来。首先和任务本身有关,对于一些较简单任务例如 Simon、Go/No-Go 任务,较难区分出两组被试行为的差异。其次是被试的年龄,年轻人处于认知巅峰时期,这种双语经验还没有到达可以影响认知的状态。随着年龄的增长,认知控制会显著的下降,使得这种影响表现出来。和传统行为研究相比,脑电和脑成像研究的被试量较少,个体差异较大因而不容易发现行为结果的组间差异。此外,行为指标的敏感性也是一个影响因素。对于同一批数据,研究者没有发现任务切换代价的组间差异,但是双语者切换代价比率更小。最后,个体差异也可能影响双语差异,有研究没有发现语言经验的主效应,但是考虑了前扣带回沟的个体差异后发现:对于左侧化被试而言,双语者的 Flanker 效应更大;对于对称被试而言,单语者的 Flanker 效应更小(Cachia et al., 2017)。

为了更好地理解双语经验对大脑执行控制功能的影响,研究者应采用不同任务和不同双语经验的被试。但是已有研究通常仅采用一种任务考察执行控制能力,这是不全面的。Miyake 等人(2000)认为它至少包括三种基本的功能:抑制、转换和刷新;此外,即便是抑制这一种功能,也可以进一步区分为干扰抑制和反应抑制两个方面(Bialystok, Craik, & Ryan, 2006)。因此,为了全面探究双语经验对执行功能的影响,未来的研究应采用更多执行功能任务来全面刻画个体的执行控制功能。

双语经验本身是个模糊的概念,两种语言的开始时间、持续时间、相对熟练程度、暴露程度、相似度以及所在通道的个数都会产生影响。但是以往的研究大多数采用单通道顺序双语者(先后学习两种语言)和单语者的对比来考察双语经验的有无对执行控制功能的影响,但是有研究发现相比于顺序双语者,同时双语者语言控制脑区间的功能连接更强,脑网络之间有更大的负相关(Berken et al., 2016; Kousaie et al., 2017)。顺序双语经验可以推广到同时双语者身上吗?二者有什么不同?此外双语经验实际上涉及多种模态的语言,除了掌握的双语都是有声语言的单通道双语,还有掌握口语和手语的双通道双语,手语是视觉-运动通道,口语是听说通道。研究者发现双通道双语经验可以改变灰质体积和功能连接强度,但是单通道和双通道的经验对大脑的影响一样吗?具体差异在哪?背后的原因是什么?

大部分研究对两组被试(如双语者和单语者)的智力、社会经济地位、工作记忆等能力都做了匹配,然后用一个指标来衡量双语经验。双语经验是个复杂的概念,除了年龄、熟练度等变量,还应该关注暴露程度、切换频率等因素,严格筛选被试和定义双语经验。Von Bastian 及其同事(2015)为了全面地定义双语经验,用聚类的方法将 L2 的习得年龄、L2 的使用情况以及 L2 与 L1 相对熟练程度这三个连续变量降维成一个指标来衡量被试的双语水平。除了横断研究,研究者还应该利用纵向研究,在一组被试中考察双语经验对于认知控制的影响,更好地排除其他因素对认知控制能力的影响。

许多研究发现相比于单语者,双语者脑成分波幅大小、灰质体积、功能连接强度等方面有差异,但是这种影响究竟代表了什么?不同方法得出的结果之间有什么联系,如何理解功能连接强度和激活大小之间的关系?如何解释这些不一致的结果?为了更好地说明这个问题,未来的研究除了以考察绝对值。

还应该以相对值为因变量，并且将脑指标和行为指标进行相关分析，尝试整合不同方法得出的结果。其次，影响的具体过程是什么？一些纵向研究开始关注学习二语什么时候开始对大脑产生什么样的影响。还有研究者尝试提出一套理论，例如 Grady 假设终身双语经验先增强功能连接，进而导致完成有关任务激活的增加，最后表现为更强的抑制控制能力。但是这些假设没有考虑脑网络水平、基因等其他因素，未来的研究应从脑电以及脑成像的不同角度提出涉及基因和环境更完善系统的理论。

以往的横断研究只能表明双语经验和大脑执行控制的相关关系，无法确定谁是因谁是果：究竟因为原本就要脑指标上的差异，所以二语学得越好；还是因为二语学得越好，改变了大脑指标？要想探究因果关系，未来研究应采用经颅磁刺激或者经颅直流电刺激的手段进行纵向研究。

最后需要指出的是，虽然这些研究发现双语者和单语者在大脑非语言认知控制能力存在差异，但是背后的原因还不明确。大多数研究者认为熟练的双语者在日常生活中需要经常在两种语言之间进行切换，特别是双语产出过程的切换，更需要对两种语言进行监控。这种特殊的语言使用经验可能是引起认知控制机制的变化的原因之一。还有研究者提出原因可能是 L2 的表征。许多研究表明双语经验影响抑制控制脑区的结构和功能，但不能证明语言控制机制是影响的原因，只能说该机制有所参与。此外还有研究者试图从脑结构角度出发认为双语经验增强功能连接，进而导致完成有关任务激活的增加，最后表现为不同的抑制控制能力。未来研究需要探讨背后的机制来加深人们对双语差异的理解。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(210100048)，中央高校基本科研业务费专项资金资助(2017XTCX04)。

参考文献

- Abutalebi, J., Canini, M., Rosa, P. A. D., Green, D. W., & Weekes, B. S. (2015). The Neuroprotective Effects of Bilingualism upon the Inferior Parietal Lobule: A Structural Neuroimaging Study in Aging Chinese Bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*, 33, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2014.09.008>
- Abutalebi, J., Della Rosa, P. A., Green, D. W., Hernandez, M., Scifo, P., Keim, R. et al. (2012). Bilingualism Tunes the Anterior Cingulate Cortex for Conflict Monitoring. *Cerebral Cortex*, 22, 2076-2086. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr287>
- Abutalebi, J., Guidi, L., Borsa, V., Canini, M., Rosa, P. A. D., Parris, B. A. et al. (2015). Bilingualism Provides a Neural Reserve for Aging Populations. *Neuropsychologia*, 69, 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.040>
- Aina, R. P., Ana, S., Noelia, V. C., Patricia, R., Clara, M., Francisco, B. et al. (2013). Bilinguals Use Language-Control Brain Areas More than Monolinguals to Perform Non-Linguistic Switching Tasks. *Plos ONE*, 8, e73028. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073028>
- Ansaldo, A. I., Ghazisaidi, L., & Adroverroig, D. (2015). Interference Control in Elderly Bilinguals: Appearances Can Be Misleading. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 37, 455-470. <https://doi.org/10.1080/13803395.2014.990359>
- Benikos, N., Johnstone, S. J., & Roodenrys, S. J. (2013). Short-Term Training in the Go/Nogo Task: Behavioural and Neural Changes Depend on Task Demands. *International Journal of Psychophysiology*, 87, 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.12.001>
- Berken, J. A., Chai, X., Chen, J. K., Gracco, V. L., & Klein, D. (2016). Effects of Early and Late Bilingualism on Resting-State Functional Connectivity. *Journal of Neuroscience*, 36, 1165-1172. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1960-15.2016>
- Bialystok, E. (2009). Bilingualism: The Good, the Bad, and the Indifferent. *Bilingualism Language & Cognition*, 12, 3-11. <https://doi.org/10.1017/S1366728908003477>
- Bialystok, E., Craik, F. I., Grady, C., Chau, W., Ishii, R., Gunji, A. et al. (2005). Effect of Bilingualism on Cognitive Control in the Simon Task: Evidence from Meg. *Neuroimage*, 24, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.09.044>
- Bialystok, E., Craik, F. I., Klein, R., & Viswanathan, M. (2004). Bilingualism, Aging, and Cognitive Control: Evidence from the Simon Task. *Psychology and Aging*, 19, 290-303. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.2.290>
- Bialystok, E., Craik, F. I., & Luk, G. (2008). Cognitive Control and Lexical Access in Younger and Older Bilinguals. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory & Cognition*, 34, 859-873. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.4.859>

- Bialystok, E., Craik, F. I., & Ryan, J. (2006). Executive Control in a Modified Antisaccade Task: Effects of Aging and Bilingualism. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory & Cognition*, *32*, 1341-1354. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.6.1341>
- Bialystok, E., Martin, M. M., & Viswanathan, M. (2005). Bilingualism across the Lifespan: The Rise and Fall of Inhibitory Control. *International Journal of Bilingualism*, *9*, 103-119. <https://doi.org/10.1177/13670069050090010701>
- Cachia, A., Del, N. M., Borst, G., Della, P. R., Pallier, C., Costa, A. et al. (2017). Anterior Cingulate Cortex Sulcation and Its Differential Effects on Conflict Monitoring in Bilinguals and Monolinguals. *Brain & Language*, *175*, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.09.005>
- Costa, A., Hernández, M., & Sebastián-Gallés, N. (2008). Bilingualism Aids Conflict Resolution: Evidence from the Ant Task. *Cognition*, *106*, 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.12.013>
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of Noise Letters upon the Identification of a Target Letter in a Nonsearch Task. *Perception & Psychophysics*, *16*, 143-149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Falkenstein, M., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1999). Erp Components in Go/Nogo Tasks and Their Relation to Inhibition. *Acta Psychologica*, *101*, 267-291. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(99\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(99)00008-6)
- Fernandez, M., Tartar, J. L., Padron, D., & Acosta, J. (2013). Neurophysiological Marker of Inhibition Distinguishes Language Groups on a Non-Linguistic Executive Function Test. *Brain & Cognition*, *83*, 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.09.010>
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2010). Influence of Cognitive Control and Mismatch on the n2 Component of the ERP: A Review. *Psychophysiology*, *45*, 152-170.
- Garbin, G., Sanjuan, A., Forn, C., Bustamante, J. C., Rodriguezpujadas, A., Belloch, V. et al. (2010). Bridging Language and Attention: Brain Basis of the Impact of Bilingualism on Cognitive Control. *Neuroimage*, *53*, 1272-1278. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.078>
- García-Pentón, L., Pérez, F. A., Iturriamedina, Y., Gillondowens, M., & Carreiras, M. (2014). Anatomical Connectivity Changes in the Bilingual Brain. *Neuroimage*, *84*, 495-504. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.08.064>
- Gold, B. T., Johnson, N. F., & Powell, D. K. (2013). Lifelong Bilingualism Contributes to Cognitive Reserve against White Matter Integrity Declines in Aging. *Neuropsychologia*, *51*, 2841-2846. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.037>
- Gold, B. T., Kim, C., Johnson, N. F., Kryscio, R. J., & Smith, C. D. (2013). Lifelong Bilingualism Maintains Neural Efficiency for Cognitive Control in Aging. *Journal of Neuroscience the Official Journal of the Society for Neuroscience*, *33*, 387-396. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3837-12.2013>
- Grady, C. L., Luk, G., Craik, F. I., & Bialystok, E. (2015). Brain Network Activity in Monolingual and Bilingual Older Adults. *Neuropsychologia*, *66*, 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.10.042>
- Hosoda, C., Tanaka, K., Nariai, T., Honda, M., & Hanakawa, T. (2013). Dynamic Neural Network Reorganization Associated with Second Language Vocabulary Acquisition: A Multimodal Imaging Study. *Journal of Neuroscience*, *33*, 13663-13672. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0410-13.2013>
- Jodo, E., & Inoue, K. (1990). Effects of Practice on the p300 in a Go/Nogo Task. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *76*, 249-257. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0013-4694(90)90019-G)
- Kousaie, S., Chai, X. J., Sander, K. M., & Klein, D. (2017). Simultaneous Learning of Two Languages from Birth Positively Impacts Intrinsic Functional Connectivity and Cognitive Control. *Brain & Cognition*, *117*, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.06.003>
- Kousaie, S., & Phillips, N. A. (2012). Conflict Monitoring and Resolution: Are Two Languages Better than One? Evidence from Reaction Time and Event-Related Brain Potentials. *Brain Research*, *1446*, 71-90. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.01.052>
- Kousaie, S., & Phillips, N. A. (2017). A Behavioural and Electrophysiological Investigation of the Effect of Bilingualism on Aging and Cognitive Control. *Neuropsychologia*, *94*, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.013>
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting Mental Chronometry: The p300 as a Measure of Stimulus Evaluation Time. *Science*, *197*, 792-795. <https://doi.org/10.1126/science.887923>
- Li L., Abutalebi, J., Zou, L., Xin, Y., Liu, L., Feng, X. et al. (2015). Bilingualism Alters Brain Functional Connectivity between "Control" Regions and "Language" Regions: Evidence from Bimodal Bilinguals. *Neuropsychologia*, *71*, 236-247.
- Liotti, M., Pliszka, S. R., Perez, R., Kothmann, D., & Woldorff, M. G. (2005). Abnormal Brain Activity Related to Performance Monitoring and Error Detection in Children with ADHD. *Cortex*, *41*, 377-388. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70274-0](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70274-0)
- Liu, X., Tu, L., Wang, J., Jiang, B., Gao, W., Pan, X. et al. (2017). Onset Age of 12 Acquisition Influences Language Network in Early and Late Cantonese-Mandarin Bilinguals. *Brain & Language*, *174*, 16-28.

- <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.07.003>
- Luk, G., Anderson, J. A., Craik, F. I., Grady, C., & Bialystok, E. (2010). Distinct Neural Correlates for Two Types of Inhibition in Bilinguals: Response Inhibition versus Interference Suppression. *Brain & Cognition*, *74*, 347-357. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2010.09.004>
- Luk, G., Bialystok, E., Craik, F. I., & Grady, C. L. (2011). Lifelong Bilingualism Maintains White Matter Integrity in Older Adults. *Journal of Neuroscience*, *31*, 16808-16813. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4563-11.2011>
- Martinrhee, M. M. (2008). The Development of Two Types of Inhibitory Control in Monolingual and Bilingual Children. *Bilingualism Language & Cognition*, *11*, 81-93.
- Mathalon, D. H., Whitfield, S. L., & Ford, J. M. (2003). Anatomy of an Error: ERP and fMRI. *Biological Psychology*, *64*, 119-141. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(03\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(03)00105-4)
- McLaughlin, J., Osterhout, L., & Kim, A. (2004). Neural Correlates of Second-Language Word Learning: Minimal Instruction Produces Rapid Change. *Nature Neuroscience*, *7*, 703-704. <https://doi.org/10.1038/nn1264>
- Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. et al. (2004). Structural Plasticity in the Bilingual Brain: Proficiency in a Second Language and Age at Acquisition Affect Grey-Matter Density. *Science*, *431*, 757-757.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Morales, J., Yudes, C., Gómez-Ariza, C. J., & Bajo, M. T. (2015). Bilingualism Modulates Dual Mechanisms of Cognitive Control: Evidence from ERPS. *Neuropsychologia*, *66*, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.014>
- Moreno, S., Wodniecka, Z., Tays, W., Alain, C., & Bialystok, E. (2014). Inhibitory Control in Bilinguals and Musicians: Event Related Potential (ERP) Evidence for Experience-Specific Effects. *PLoS ONE*, *9*, e94169. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094169>
- Olulade, O. A., Jamal, N. I., Koo, D. S., Perfetti, C. A., Lasasso, C., & Eden, G. F. (2016). Neuroanatomical Evidence in Support of the Bilingual Advantage Theory. *Cerebral Cortex*, *26*, 3196. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv152>
- Paap, K. R., Johnson, H. A., & Sawi, O. (2015). Bilingual Advantages in Executive Functioning Either Do Not Exist or Are Restricted to Very Specific and Undetermined Circumstances. *Cortex*, *69*, 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.04.014>
- Polich, J. (2007). Updating p300: An Integrative Theory of p3a and p3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 2128-2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Schlegel, A. A., Rudelson, J. J., & Tse, P. U. (2012). White Matter Structure Changes as Adults Learn a Second Language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*, 1664-1670. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00240
- Schweizer, T. A., Ware, J., Fischer, C. E., Craik, F. I., & Bialystok, E. (2012). Bilingualism as a Contributor to Cognitive Reserve: Evidence from Brain Atrophy in Alzheimer's Disease. *Cortex*, *48*, 991-996. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.04.009>
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory s-r Compatibility: The Effect of an Irrelevant Cue on Information Processing. *Journal of Applied Psychology*, *51*, 300. <https://doi.org/10.1037/h0020586>
- Stein, M., Federspiel, A., Koenig, T., Wirth, M., Strik, W., Wiest, R. et al. (2004). Structural Plasticity in the Language System Related to Increased Second Language Proficiency. *Cortex*, *40*, 458-465.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of Interference in Serial Verbal Reactions. *Journal of Experimental Psychology General*, *121*, 15-23. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Sullivan, M. D., Janus, M., Moreno, S., Astheimer, L., & Bialystok, E. (2014). Early Stage Second-Language Learning Improves Executive Control: Evidence from ERP. *Brain & Language*, *139*, 84-98. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2014.10.004>
- Veen, V., & Carter, C. (2002). The Timing of Action-Monitoring Processes in the Anterior Cingulate Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 593-602. <https://doi.org/10.1162/08989290260045837>
- Von Bastian, C. C., Souza, A. S., & Gade, M. (2015). No Evidence for Bilingual Cognitive Advantages: A Test of Four Hypotheses. *Journal of Experimental Psychology General*, *145*, 246-258.
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The Neural Basis of Error Detection: Conflict Monitoring and the Error-Related Negativity. *Psychological Review*, *111*, 931-959. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.931>
- Zou, L., Ding, G., Abutalebi, J., Shu, H., & Peng, D. (2012). Structural Plasticity of the Left Caudate in Bimodal Bilinguals. *Cortex*, *48*, 1197-1206. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.05.022>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7273，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ap@hanspub.org