

抑制控制与高级认知功能的关系*

王 君 陈天勇

(中国科学院心理健康重点实验室; 中国科学院心理研究所老年心理研究中心, 北京 100101)

摘 要 近年来抑制控制与高级认知功能关系的研究受到了越来越多的重视。大量实证研究表明, 抑制控制是解释工作记忆、阅读理解、液态智力等高级认知功能个体差异的一个重要机制。脑成像研究表明, 抑制控制与工作记忆和液态智力等高级认知功能都激活了前额叶和顶叶等共同脑区。同时, 认知发展和认知老化, 以及认知干预领域的研究都一致表明, 抑制控制与高级认知功能关系密切。未来研究应注意抑制控制的定义和测量问题, 以及脑机制和训练干预等方面的问题。

关键词 抑制控制; 工作记忆; 阅读理解; 液态智力; 认知干预

分类号 B844.4

抑制控制作为一种基础的认知机制, 经常与工作记忆、阅读理解、液态智力等高级认知功能联系在一起。抑制控制主要负责阻止或压抑无关信息或行为, 以排除或减少其对当前信息加工的影响。近年来, 抑制控制与高级认知功能的关系受到了越来越多的重视。因此, 本文将从抑制控制与工作记忆、阅读理解、液态智力以及抑制训练这四个方详细面介绍抑制控制与高级认知功能的关系, 同时总结了当前抑制研究的不足并提出了未来的发展趋势。

1 抑制控制与工作记忆

工作记忆是一个容量有限的系统, 主要负责在各种复杂认知活动中, 对信息的暂时存储和处理(Jarrold, Tam, Baddeley, & Harvey, 2011)。Hasher等人(1988, 1999)提出的抑制衰退理论首次把抑制控制与工作记忆联系在一起, 认为抑制能力的衰退会导致更多的无关信息进入工作记忆并影响当前信息的加工, 而工作记忆能力的衰退又导致其他认知功能受损害。他们的理论区分了三种与工作记忆有关的抑制控制能力, 分别是通达(access)、删除(deletion)和压抑(restraint)。通达负

责允许有关的信息进入工作记忆, 同时阻止无关信息进入到工作记忆中; 删除负责排除已经进入工作记忆的无关信息或之前与加工目标有关但现在无关的信息; 压抑则负责抑制工作记忆内不适宜的占优势的思维或反应。抑制研究中经常使用的抑制优势反应(inhibition of prepotent responses)在 Hasher 等人看来是压抑的一种。虽然这三种抑制控制能力都与工作记忆有关, 但一般认为前两种能力与工作记忆相关更密切一些。Harnishfeger (1995)、Nigg (2000)也有类似的说法, 认为抑制控制主要涉及对干扰工作记忆内信息加工的刺激进行压抑。

而 Engle 和他的同事与 Hasher 等人(1999)的观点正好相反, 他们认为并不是抑制控制能力影响了工作记忆容量, 而是工作记忆容量的高低影响了个体抑制控制的效率。他们认为工作记忆容量的个体差异反映的是个体执行控制资源的差异, 而这种执行控制资源的差异对排除与当前加工无关的信息和行为的抑制过程产生了制约, 因此工作记忆容量的高低影响了个体抑制控制的效率(Redick, Heitz, & Engle, 2007)。在他们的研究中, 被试一般被分为高、低工作记忆广度组, 然后分别考察两组被试在抑制任务上的表现。

此前国内关于抑制与工作记忆的综述主要从理论方面介绍了抑制对于工作记忆的重要性(王敬欣, 白学军, 2002; 赵笑梅, 陈英和, 2006), 因

收稿日期: 2012-05-28

* 中国科学院优博科研启动专项资金资助项目

通讯作者: 陈天勇, E-mail: chenty@psych.ac.cn

此本节将主要介绍近年来支持 Hasher 等人所提出的三种抑制控制能力(通达、删除、压抑)与工作记忆关系的实证研究。

1.1 通达与工作记忆

通达抑制能力负责阻止无关信息进入到工作记忆中, 近年来认知神经科学方面的研究探讨了通达抑制能力对工作记忆的影响。Vogel 和他的同事对抑制无关信息的能力(通达)与工作记忆的关系进行了一系列的研究。Vogel 和 Machizawa (2004)发表在 *Nature* 上的文章中使用事件相关电位技术(event related potentials, ERP), 利用偏侧化呈现的方式, 要求被试根据线索记忆一侧视野区域内呈现的目标刺激, 随后在大脑对侧发现了一个对工作记忆负荷敏感的负波, 即对侧延迟活动(CDA)。随后 Vogel、McCollough 和 Machizawa (2005)年发表在 *Nature* 上的文章中, 通过观察 CDA 考察了通达抑制能力。在 Vogel 等人的实验中, 被试被分成高、低工作记忆广度两组, 要求被试根据线索记忆一侧视野区域内呈现的目标刺激(红色长方条), 同时忽视干扰刺激(蓝色长方条)的影响。实验结果表明, 高广度被试的 CDA 激活幅度仅随目标刺激增加而提高, 而低广度被试的 CDA 激活幅度则随着刺激总数(目标刺激和干扰刺激)的增加而提高。这说明工作记忆广度的个体差异主要是源于低广度被试不能很好的抑制无关信息进入工作记忆。

1.2 删除与工作记忆

近年来, 对于删除能力的研究很大程度上是通过考察前摄抑制进行的。前摄干扰一直被认为和遗忘密切相关, 近来研究者更是认为对前摄干扰的抑制是抑制控制中删除能力的一个重要体现(Lustig et al., 2007)。在传统的工作记忆广度任务如阅读广度、操作广度中, 工作记忆广度的测量是按照由低到高的顺序进行, 然而有研究者认为这种呈现顺序会导致前摄干扰随着广度增加而大幅提高。为了降低这种前摄干扰对老年人的影响, 他们改变了工作记忆广度任务中刺激序列的呈现方式, 以一种由高到低的顺序呈现刺激序列。他们认为, 在传统的工作记忆广度任务中, 老年人按从低到高的顺序完成任务(如“2-3-4”)。这样在到达高广度如 4 时, 他们在工作记忆中已经累积了前面两个广度的信息, 这些信息很容易对当前的信息产生干扰(前摄干扰), 从而降低老年人在

高广度任务上的表现。而在改变呈现顺序的情况下(如“4-3-2”), 由于老年人首先完成高广度任务, 不存在前摄干扰的影响, 因此他们可以更容易地完成高广度的任务。研究结果表明, 老年人的工作记忆广度的确得到了提高(Rowe, Hasher, & Turcotte, 2008, 2010)。更有趣的是, Bunting (2006)发现, 当采用了降低前摄干扰的测量方法后, 被试的工作记忆广度并不能预测其他高级认知功能(液态智力)。这说明工作记忆与其他高级认知功能的关系在很大程度上是通过抑制控制能力调节的。

进一步, 研究者们还发现, 前摄抑制与具体的任务材料相似性有关。Rowe 等人(2010)的实验中使用了一个空间工作记忆广度任务, 他们发现当刺激呈现的位置相似度高时, 老年人在该任务中表现得更差。此外, 他们还发现单独的降低前摄干扰的措施, 如降低材料相似性或采取由高到低呈现刺激序列的方式都能改善老年人在工作记忆广度任务上的表现。这说明工作记忆的测量受很多与前摄干扰有关的因素调节。

1.3 压抑与工作记忆

除了通达和删除, 在个体差异的研究方面, 也有大量研究提供了压抑与工作记忆相关密切的证据。Borella、Carretti 和 Beni (2008)的研究中采用了 Hayling 补句测验和认知错误问卷(Cognitive Failure Questionnaire, CFQ)来考察压抑与工作记忆以及年龄的关系, 发现 Hayling 补句测验与工作记忆以及年龄相关密切, 但认知错误问卷与两者相关均不显著, 随后的分层回归分析表明压抑虽然可以解释工作记忆老化的部分年龄效应, 但并非决定性的影响因素。Brewin 和 Beaton (2002)发现被试在干扰思维的抑制任务上的表现与在工作记忆广度任务上的表现密切相关, 相关达到 -0.51。van Gerven、Boxtel、Meijer、Willems 和 Jolles (2007)则发现压抑不能解释简单广度任务的老化效应, 但可以解释复杂广度任务的老化效应。

与 Hasher 等人不同, Engle 等人的研究主要集中在压抑能力上。在 Engle 等人的研究中, 他们一般将被试分为高低工作记忆广度组, 然后分别考察两组被试在抑制任务上的表现。Kane、Bleckley、Conway 和 Engle (2001)发现低广度被试在做反向线索任务时, 比高广度被试反应更慢, 同时错误

也更多。对眼动的扫描也显示低广度被试返回得更慢、错误更多。Lecerf 和 Roulin (2009)采用了一个空间工作记忆任务进行测量,发现低广度被试产生的侵入式错误更多,Minamoto 等人(2010)得出了类似的结论。Redick、Calvo、Gay 和 Engle (2011)则发现低广度被试在传统和改进的 go/nogo 任务上的表现都比高广度被试差。

1.4 抑制控制与工作记忆的脑机制

除了认知行为学的研究之外,一些研究者使用了脑成像技术考察了抑制控制与工作记忆共同激活的脑区。Bunge、Ochsner、Desmond、Glover 和 Gabrieli (2001)的研究中使用了 Sternberg 任务的变式,分别对干扰和工作记忆负荷进行了调节。研究结果发现在这两种调节方式下,个体都激活了左右脑的背外侧和腹外侧的前额叶、顶叶、前部扣带回等区域。然而他们发现前部扣带回区域并不受干扰调节的影响,而是对工作记忆负荷的高低敏感。他们认为这说明抑制控制在某种程度上是通过部分工作记忆相关脑区的激活调节的。McNab 等人(2008)也做了类似的研究。在他们的研究中所使用的抑制任务分别是停止任务、go/nogo 任务和 flanker 任务。研究结果表明抑制任务和工作记忆任务都激活了右侧额下回区域、右侧额中回区域和右侧顶叶区域。此外,左侧额下回区域和兴趣有关的脑区(Left inferior frontal regions of interest, ROIs)在除 flanker 任务以外的任务中都有激活。另外有研究发现(Minamoto, Osaka, & Osaka, 2010),被试在完成有干扰的工作记忆任务时,被试的双侧额下回区域激活随着干扰增加而增强,然而高广度被试和低广度被试在增强的程度方面差别不大。双侧的梭状回区域(the fusiform gyrus, FFG)在低广度被试下的激活比高广度被试下的要高,而左脑额中回区域的激活则相反。作者认为这说明高广度被试的高抑制能力依赖于自上而下的调节效率,这种调节受左脑额中回与后部感觉区域间联系的影响。综合这些研究可以看出,抑制任务和工作记忆任务共同激活了众多的相关脑区,其中前额叶和顶叶尤其突出。

1.5 小结

总之,抑制控制与工作记忆的密切关系已经得到了很多研究的支持,但在这种关系中二者谁更基础(即抑制控制与工作记忆的因果关系)还没有一致的结论。Hasher 等人(1988, 1999)认为抑制

控制是更为基础的机制,而 Engle 等人则认为工作记忆更为基础(Redick, Heitz, & Engle, 2007)。上述所介绍的支持 Hasher 等人观点的实证研究,在某种意义上也可以用 Engle 等人的观点来解释。如在通达抑制能力与工作记忆的关系方面,Vogel 等人通过考察对侧延迟活动(CDA),发现高工作记忆广度的被试的 CDA 不随干扰项目的增加而提高,而低广度被试的 CDA 则随着干扰项目增加而提高。从 Hasher 等人的角度,可以理解为低广度被试的通达抑制能力比高广度被试差,即他们不能有效的抑制无关刺激进入到工作记忆中,通达抑制能力的高低决定了工作记忆容量的高低。而从 Engle 等人的角度,可以理解为低广度被试的执行控制资源相对于高广度被试更少,从而致使他们对无关信息的抑制效率变低,进而导致 CDA 随着干扰项目的增加而提高。脑成像方面的研究也主要是发现抑制控制与工作记忆激活了一些共同的脑区,仍然回答不了二者谁更基础的问题。因此,抑制控制与工作记忆的关系问题还有待进一步的研究。

2 抑制控制与阅读理解

一般认为,阅读理解包含三个层次的阅读加工,分别是词汇、句子和语篇,在不同的层次都需要抑制机制的参与。对于词汇和句子水平的抑制研究国内已有相应的综述介绍(杨小虎, 2005; 周冶金, 陈永明, & 杨丽霞, 2002),而对于语篇水平的抑制研究介绍甚少,因此本节将着重介绍语篇水平的抑制研究。此外,由于近年来语篇水平的抑制研究中使用的任务范式主要是干扰阅读任务,因此下面主要介绍与干扰阅读任务有关的研究。

2.1 理论及范式

Hasher 和 Zacks (1988)提出的抑制衰退理论将抑制与工作记忆以及阅读理解联系起来,认为抑制能力的衰退会使得个体在阅读的时候无法有效的抑制来自语篇和外部环境的无关信息,从而降低在阅读任务上的表现。在 Hasher 等人的阅读理解研究中,经常使用到的任务是干扰阅读任务。干扰阅读任务通常是让被试读一篇插入了干扰词汇或短句的短文,干扰词汇或短句的意义可能与正文有关,也有可能无关。一般干扰词汇或短句的呈现字体和语段正文的字体不一致。在读

的过程中被试被要求忽视干扰词汇,同时尽量记住短文的意思。读完短文后被试被要求完成一些与短文相关的问题或者内隐测验等。另外也有研究者采取干扰词汇或句子的呈现字体和语段正文保持一致的做法,借以测量被试的删除能力。

2.2 干扰阅读中抑制控制发生阶段的争议及研究

在使用干扰阅读任务的阅读理解研究中,研究者们一般认为抑制控制差的个体更容易受无关信息的干扰,但究竟哪个阶段的抑制控制更为关键却存在很大的争议。一些研究者认为通达阶段的抑制控制更为关键。在这个阶段抑制控制强的被试能够阻止干扰信息进入到工作记忆中,而抑制控制差的被试则无法做到这一点。在 Connelly、Hasher 和 Zacks (1991)的研究中,被试被要求阅读一些插入与短文有关或无关的词汇。研究结果发现与年轻被试相比,老年被试读得更慢,在完成短文后的题目上正确率也更差。Connelly 等人认为这是由于老年人相比年轻人,排除无关信息的能力更差,在阅读的时候更容易被插入的干扰词汇打断。换句话说,他们认为在干扰阅读过程中,通达阶段的抑制控制更为关键。

另外一些研究者则认为删除阶段的抑制控制更为关键,即信息进入工作记忆后的阶段。他们认为在通达阶段,所有被试都对干扰信息和目标信息进行了加工。但随后抑制控制强的被试能够将无关信息从工作记忆中排除出去,而抑制控制差的被试则无法做到这一点。在 Dywan 和 Murphy (1996)的研究中,他们发现老年人虽然容易被干扰词汇打断,但在完成短文后的干扰词汇再认任务上,老年人的成绩显著差于年轻人。据此,他们认为删除阶段的抑制控制更为关键。近年来这两种观点都得到了实证研究的支持。

一些研究结果支持 Connelly 等人(1991)关于通达阶段的抑制控制更为关键的观点。在 Kim、Hasher 和 Zacks (2007)的研究中,被试在阅读完了干扰阅读的材料后会有一个类似启动的任务。他们发现,当启动词是干扰阅读任务中的干扰词时,在老年被试上发现了启动效应,而在年轻被试上则没有发现该效应。这说明年轻人能够成功的抑制干扰词汇的影响,因而在短文后的任务上没有发现启动效应,而老年人则不能做到这一点。这支持了 Connelly 等人认为语篇理解中通达

阶段的抑制控制更为关键的观点。此外有研究者使用眼动技术对干扰阅读任务进行了研究(Mackay, 2008),发现与年轻人相比,老年人对干扰词汇的注视时间和注视次数要显著的更多一些,这也支持了 Connelly 等人的观点。

另外也有一些研究结果支持 Dywan 和 Murphy (1996)关于删除阶段的抑制控制更为关键的观点。在 Tun、Kane 和 Wingfield (2002)的研究中,他们采用了听觉呈现阅读材料的方式,同时伴随有干扰音。研究结果发现与年轻人相比,老年人更容易受到无关信息的干扰,然而在再认测验中年轻人更容易再认出这些干扰信息。国内学者李寿欣、徐增杰和陈慧媛(2010)采用眼动技术考察了场依存和场独立个体在干扰阅读任务上的表现,研究结果表明场独立个体更能有效的抑制无关信息的干扰,但在阅读中的眼动指标上,两组被试没有差异。这说明两组被试抑制能力的差异并不是体现在通达阶段,而是体现在无关信息进入工作记忆后的删除阶段。因为如果抑制能力的差异是体现在通达阶段,那么场独立个体必然更少的注视无关信息。这从另一个方面支持了删除阶段的抑制控制更为关键的观点。

Thomas 和 Hasher (2012)最新的研究结果也支持了干扰阅读任务中删除阶段的抑制控制更为关键的观点。在他们的第一个实验中,被试首先完成干扰阅读任务,接下来学习一系列词汇并自由回忆,学习的词汇里有一半是干扰阅读任务中的干扰词汇。研究结果发现老年人回忆干扰词汇的成绩比回忆新词汇的成绩要好,而年轻人并无此效应。这似乎支持了抑制发生在通达阶段的观点。然而在第二和第三个实验中,当年轻人被提示学习的词汇中有部分出现在之前的干扰阅读中时,年轻人对干扰词汇的回忆比对新词汇的回忆要好,即使这种提示在被试学习完词汇以后才呈现。Thomas 和 Hasher 认为这说明了年轻人和老年人都对干扰阅读中的无关信息进行了加工,但年轻人能够在随后的删除阶段排除这些无关信息的干扰。

此外,也有研究者对干扰阅读任务进行了改动,直接考察删除能力对阅读理解的影响。在 Kemper、McDowd、Metcalf 和 Liu (2008)的研究中,他们对干扰设置了四种难度水平(即无干扰词,以及一个、两个或四个干扰词;在出现两个或四个干扰词的情况下,这些干扰词会组成一个有意

义的词组或短句,但是这些干扰词或短句与正文的意思无关),并且干扰词与正文的字体相一致,通过这种方法考察被试的删除能力。Kemper 等人假设老年人会更容易受这些干扰词或短句的影响,但眼动扫描发现年轻人会随着干扰词的增加而更多地关注这些干扰词或短句,出现更多的往左侧的回顾眼动,但老年人则没有发现这一现象。

Kemper 等人认为这是由于年轻人倾向于去理解干扰词或短句,倾向于将干扰词或短句与短文背景联系起来,当干扰强度加大时(由两词词组变为四词短句),年轻人对这些干扰材料与正文进行区分变得更为困难。而老年人由于缺乏对干扰短句的敏感性,更多地视干扰短句是正文的一部分,这使得他们不会花更多时间去作进一步的区分。在随后的再认测验中也表明年轻人对干扰词的再认成绩要更好一些。Kemper 等人认为他们的研究结果并不支持 Connolly 等人(1991)所认为的老年人比年轻人在通达阶段更容易受干扰信息的影响,并且认为个体对无关信息的抑制主要发生在删除阶段,这与 Dywan 和 Murphy (1996)的说法是一致的。

2.3 小结

总之,关于干扰阅读任务,早期观点认为通达阶段的抑制控制更为关键,而近年来研究者们更多地认为删除阶段的抑制控制更为关键。这两种观点的区别主要源于实验设计的差异。传统的实验设计比较适合考察通达阶段的抑制控制能力,如通过控制干扰词出现的频率或与正文的相关性来调节通达阶段的干扰强度。近年来,一些研究者采用巧妙的实验设计,如干扰词和正文采用相同的字体,使干扰词在加工初期不可避免地进入了工作记忆,需要被试随后将这些干扰词从工作记忆中排除,从而实现了删除阶段抑制控制能力的考察。

一般认为认知的老化是普遍的,除了抑制衰退,其他一些基本的认知功能如感知觉也在衰退。因此也有研究者对抑制控制在干扰阅读任务中的作用提出了质疑,认为是由感知觉的衰退导致了干扰阅读任务上的个体差异和年龄差异。Mund、Bell 和 Buchner (2010)认为由于在干扰阅读任务中,干扰词汇或句子的呈现字体与正文字体不一致,而老年人的感觉缺陷会受这种字体不一致的影响,进而导致其在干扰阅读的任务上表

现差。但他们的实验表明,虽然老年人的确会受到这种字体不一致现象的影响,但是在匹配了感觉缺陷以后,老年人在文后问题上的正确率依然较差。这说明感觉缺陷并不能用来解释干扰阅读任务的老化效应。

3 抑制控制与液态智力

3.1 理论介绍

液态智力是个体面对复杂环境时灵活应变的能力,一般包括记忆、注意、推理能力等。大量研究表明,液态智力在成年早期达到巅峰以后会随着年龄增长而衰退,而晶态智力(如词汇、知识经验等)在很大程度上不受老化的影响。关于液态智力随年龄发展和衰退的机制问题一直是研究者们关注的焦点。近年来随着认知神经科学的发展,人们发现相比其他脑区,额叶更晚成熟并更容易衰退,前额叶的发展变化被人们认为是包括液态智力等高级认知功能发展和衰退的重要原因。Dempster 等人(1991, 1999)将前额叶与抑制联系起来,认为前额叶是抑制功能的神经基础,额叶的衰退及病变会影响个体的抑制能力,进而影响个体在其他高级认知功能上的表现,并且他认为抑制是液态智力不可或缺的一部分。Luria (1966)也发现额叶受损者在抑制控制方面出现了严重的衰退,这些受损者很难舍弃旧有不适宜的反应,行为固著不变(perseveration),无法灵活变通。Hasher 等人(1999)的抑制衰退理论则以工作记忆为中介,认为抑制的衰退会导致个体工作记忆衰退,进而影响其他高级认知功能。而工作记忆与液态智力有着十分密切的关系,《Psychology Bulletin》曾在 2005 年专刊讨论了工作记忆与液态智力的关系(Ackerman, Beier, & Boyle, 2005)。国内也有研究者综述了工作记忆与液态智力的关系,认为前额叶是工作记忆与液态智力共有的生理机制,而工作记忆与液态智力的密切关系很大程度上是由由此导致的(党彩萍, 刘昌, 2009)。如上述抑制与工作记忆同样关系密切,因此可以推测抑制对液态智力至少有着相当的影响。近年来抑制控制与液态智力的关系越来越受到研究者的重视,研究主要集中在个体差异研究方面和认知神经科学方面。此外除了较常研究的压抑能力,抑制衰退理论所提出的通达和删除能力也开始被人们用来考察与液态智力的关系。

3.2 压抑与液态智力

在个体差异的研究方面,很多研究者用结构方程建模的方法研究抑制控制与液态智力的关系。值得注意的是,这些研究中所考察的抑制控制能力基本上都是抑制优势反应。Friedman 等人在 2006 年使用结构方程模型分析的方法研究了三种执行功能(抑制、工作记忆更新和任务转换)和液态智力之间的关系。研究结果表明虽然工作记忆更新因素和液态智力因素的相关最高,但抑制因素和液态智力因素同样有一个中等程度的相关。而在最近的研究中,Unsworth 等人(2009)甚至发现抑制优势反应的潜变量与液态智力的潜变量有一个高达 0.76 的相关,超过了工作记忆与液态智力的相关(0.40)。国内学者陈天勇和李德明(2006)探讨了抑制和加工速度在液态智力老化过程中所起的作用,研究结果显示,除了加工速度的作用之外,抑制对液态智力老化也起重要的中介作用。

此外,压抑与液态智力的关系在认知发展领域也受到相当的重视。在 Duan、Shi、Wu、Mou、Cui 和 Wang (2009)的一项研究中,他们使用 ERP 技术考察了智力超常儿童和普通儿童在完成 go/nogo 任务下的不同表现。研究结果显示和普通儿童相比,智力超常儿童在 nogo 刺激出现时能够更快的抑制反应,表现为与 nogo 刺激相联系的 P3 成分潜伏期更短。Michel 和 Anderson (2009)的研究中使用了反向线索任务测量抑制,在考虑了与年龄有关的发展因素后,研究结果表明抑制与液态智力的发展息息相关。这些都表明抑制控制对液态智力的发展同样重要。

3.3 通达和删除与液态智力

除了压抑外,近年来也开始有研究关注通达和删除与液态智力的关系。在 Darowski、Helder、Zacks、Hasher 和 Hambrick (2008)的研究中,他们使用干扰阅读任务测量了被试的通达抑制能力。研究结果表明在干扰情况下被试完成干扰阅读任务的反应时与推理能力相关显著(-0.61)。他们认为这说明抑制对高级认知功能的老化起到了重要的调节作用。在 Witthoeft、Sander、Suess 和 Wittmann (2009)的研究中,他们采用有意遗忘任务测量了被试的删除能力,研究结果显示在年轻被试上删除能力显示出与液态智力相关的倾向,但由于样本量较小,相关没有达到显著。在老年

人身上则没有发现删除能力与液态智力的相关。总的来说,由于研究数量较少,通达和删除能力与液态智力的关系并不十分明确,有待进一步的研究。

3.4 抑制控制与液态智力的脑机制

近年来来自脑成像方面的研究也支持抑制控制与液态智力关系密切。N-back 任务作为一项经典的工作记忆任务,经常被用在认知神经科学的研究中(Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005)。任务要求被试将当前出现的刺激与 n 个 trial 之前的刺激进行比较,相同时按键反应,不同则按另一个键或不按。诱惑刺激指的是在“n+1”或“n-1”这样的位置出现与目标相同的刺激,如 3-back 任务中的 2-back 和 4-back 均为诱惑刺激出现的位置。由于高度的相似性,当出现诱惑刺激时,被试必须集中精力抑制诱惑刺激的干扰。Gray、Chabris 和 Braver (2003)发现,出现诱惑刺激时,被试的脑激活和液态智力任务激活的脑区相关最大,激活脑区主要位于前额叶侧部以及顶叶部分。在行为方面的数据也发现被试在诱惑刺激下的正确率与液态智力密切相关(0.386)。

Burgess、Gray、Conway 和 Braver (2011)则直接考察了抑制、工作记忆与液态智力的关系。在他们的研究中,除了 n-back 任务外,被试还完成了 4 项工作记忆广度任务。相关数据表明被试在 n-back 任务中诱惑刺激下的正确率与液态智力以及工作记忆广度密切相关(0.212 到 0.420)。变异分解显示被试在诱惑刺激下的脑激活能够解释 25%的工作记忆广度与液态智力共享的成分。Burgess 等人认为这说明抑制控制是能够解释工作记忆与液态智力关系的重要机制,它们都涉及前额叶侧部和顶叶区域的脑激活。值得注意的是,目前针对通达和删除与液态智力关系的行为研究较少,而脑成像研究对 n-back 任务中诱惑刺激的考察,实际上属于对抑制前摄干扰的考察,这种对前摄干扰的抑制控制则是一种删除能力。

4 抑制控制训练

4.1 理论介绍

相对于其它脑区,额叶最发达同时也最晚成熟,随年龄增长的衰退更快(Raz, 2004)。抑制衰退理论认为,抑制(额叶)能力的随年龄衰退是引起人们工作记忆衰退的主要原因,而工作记忆的

衰退又会对日常认知功能(记忆、推理、视觉空间能力)造成重大影响。Dempster (1992)也提出了类似的观点,认为抑制控制和额叶高度相关,额叶的病变导致个体抑制能力的下降,进而影响在其他高级认知功能任务上的发挥,如威斯康辛卡片测验(WCST)等。Dempster 认为和正常成人相比,儿童及老年人均表现出额叶功能缺陷。如果认知发展及老化主要源于抑制控制的不足,并且儿童及老年人的抑制控制存在可塑性,那么针对该能力的认知干预就可能达到提高其他高级认知功能的目的。

4.2 老年人的抑制训练研究

目前针对抑制控制训练的研究较少,仅有少量的研究发现抑制控制的认知可塑性和神经可塑性。Dulaney 和 Rogers (1994)使用了 stroop 任务进行了抑制控制的训练研究。在年轻人和老年人身体他们都发现了训练效应,同时通过训练两组被试提高的程度基本一致,但作者认为造成两组被试出现训练效应的认知机制并不一样。研究表明年轻人可能是成功的抑制了对词汇阅读的优势反应,而老年人成绩提高并非源于改变已经形成的自动反应,而是对颜色命名或视觉扫描的熟练。Davidson, Zacks 和 Williams (2003)同样以 stroop 任务同时训练了年轻人和老年人的抑制能力。经过训练之后,两组被试的抑制能力均有所改善,但 stroop 效应依然存在。结果表明老年人从训练中的获益比年轻人要高,反应时减少得更多。

最近 Wilkinson 和 Yang (2011)的研究也以 stroop 任务训练了老年人的抑制能力,并采用了不同的任务材料。研究结果表明在不同的任务材料下 stroop 任务都存在训练效应,作者认为这说明了被试能力的提高是一种一般性抑制能力的提高。此外该研究没有发现对 go/nogo 任务的近迁移效应, Wilkinson 和 Yang 认为这可能出于以下2点原因:(1) go/nogo 任务主要测量抑制优势反应,属于一种压抑任务,而 stroop 任务可能更多涉及了通达成分;(2)已经发现近迁移效应的研究中所使用的近迁移任务基本上都是变换了任务材料的训练任务,而没有发现近迁移效应的研究基本上都是用了不同的任务作为近迁移任务。

4.3 儿童及年青人的抑制训练研究

除上述研究外,还有一些抑制控制的训练研

究是针对儿童进行的。Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno 和 Posner (2005)进行了一项针对儿童的持续5天的注意训练。研究中的被试包括4岁和6岁的儿童,4岁儿童的9个训练任务中有一个类似 stroop 的任务,6岁儿童多做了一个 go/nogo 任务。迁移任务是一个类似 flanker 的任务。训练后的儿童在 flanker 任务上的表现(39ms)和成年人更为接近(30ms)。训练还提高了儿童在液态智力测验某个分测验上的成绩。

除了认知训练以外,有研究发现抑制控制也可以通过锻炼身体或冥想的方式来提高。通过十个月的锻炼,Smiley-Oyen、Lowry、Francois、Kohut 和 Ekkekakis (2008)发现老年人在 stroop 任务上的表现有明显提高,但在同样涉及抑制成分的 WCST 任务上没有发现提高。作者认为这是由于身体锻炼对需要快速反应的任务更敏感。Tang 等人(2007)以大学生为被试,进行了每天20分钟持续5天的身心冥想训练(integrative body-mind training, IBMT),发现被试在类似 flanker 任务上的成绩得到提高,同时在瑞文测验上的表现也有提高。在另一项研究中,年轻人经过了11个小时的身心冥想训练,fMRI 探测表明放射冠区域(corona radiata)的各向异性(fractional anisotropy, FA)活动增加,而该区域连接扣带回区域和其他脑区,各向异性增加表明其连接的效率提高了,而这种提高和抑制控制的效率有关(Tang et al., 2010)。

总之,目前已有的抑制训练研究表明,抑制控制在一定程度上是可塑的,无论是认知可塑性还是神经可塑性。但目前的抑制控制训练主要集中在抑制优势反应能力的训练上,对其他抑制能力的训练较少涉及。此外,在训练的效果上,目前针对老年人的训练研究较少发现迁移效应,而针对儿童和年轻人的训练研究则发现得多一些。这可能是由于与儿童和年轻人相比,老年人的认知可塑性和神经可塑性都更差一些。

5 总结和展望

抑制控制作为重要的基础认知机制,开始被越来越多的研究者视为一种能够解释高级认知功能的认知结构。但在目前,抑制控制研究还存在一些根本性的问题。主要包括以下几点。

首先,抑制的定义并不十分明确。虽然已经

有多种比较流行的抑制分类, 如 Nigg (2000) 从抑制是否需要意识以及抑制的是思维还是行为反应的分类、Hasher 等人(1999)的与工作记忆有关的抑制分类等, 但很多研究者在研究中仍然只将抑制优势反应作为唯一的抑制控制能力, 而对其他的认知抑制如通达和删除研究甚少。此外, 这些不同的抑制功能彼此之间究竟共享多少的抑制成分也是一个有待考察的问题。

其次, 抑制控制的测量问题。Hasher 等人(1999)认为目前对于抑制控制的测量, 大多是采用一种间接的手段来测量, 受很多因素干扰。这些因素大致可以归为三点: (1)抑制控制本身的特性导致其随着任务序列的变化而变化, 特别是删除能力。在删除的测量任务中, 越往后被试需要抑制的前摄干扰越多, 即需要删除的信息也越多。同时抑制的测量还受练习和策略的影响; (2)任务不纯, 很多抑制控制任务包含了很多非抑制控制的成分, 而这些成分对抑制控制测量的影响尚无定论。如负启动任务(Negative Priming)曾被视为测量抑制的重要任务, 但近来人们开始认识到负启动任务涉及的成分十分复杂, 它并不是一个很好的抑制指标(Burke & Osborne, 2008)。此外, 很多使用结构方程建模方法的研究也发现抑制控制任务的汇聚性效度不高(Miyake et al., 2000)。Friedman 和 Miyake (2004)采用了潜变量分析的方法, 探讨了三种不同的抑制能力之间的关系, 分别是抑制优势反应、对干扰的抵制以及前摄抑制。结果显示抑制优势反应与对干扰的抵制密切相关, 但这两种能力都与前摄抑制不相关。此外, 这三种抑制能力与其他任务如负启动、随机数产生、阅读广度等的关系也不一致; (3)很多研究任务没有区分不同的抑制能力。如 stroop 任务传统上被视为抑制优势反应任务, 但近来人们认为该任务可能更多的涉及了通达抑制能力。此外, 还有研究发现, 即使是采用了不同材料的任务范式, 这些 stroop 任务之间的相关也几乎不显著(Shilling, Chetwynd, & Rabbitt, 2002)。

另外, Hasher 等人(1999)还认为年轻人和老年人的生理节律有差异, 而对个体抑制控制能力和工作记忆广度的测量则受到这种生理节律差异的影响。当老年人在一天中生理节律的较高点测量工作记忆广度时, 成绩得到了提高, 而在生理节律的较低点测量时成绩受影响(Rowe & Hasher,

2011)。但也有研究者发现生理节律对工作记忆的测量没有影响, 而抑制优势反应的测量则受生理节律的影响, 老年人在一天中生理节律的较低点即下午接受测量时成绩更差(Borella, Ludwig, Dirk, & Ribaupierre, 2011)。这可能是由于这些研究者测量工作记忆广度的方式不一致导致的。在 Rowe 和 Hasher 的实验里, 工作记忆广度的刺激序列是由高到低呈现的, 而在 Borella 等人的实验里, 他们是以传统的方式来测量工作记忆广度的。并且当 Rowe 和 Hasher 也采用传统的方式测量工作记忆广度时, 他们同样没有发现受到生理节律的影响。这表明生理节律对认知测量的影响还有待进一步的研究。

第三, 不同抑制控制能力的脑机制以及干预方面有待进一步的研究。已有的脑成像方面的研究均表明额叶是抑制控制能力重要的物质基础, 但现有的研究基本都集中在对压抑能力的考察上, 对其他两种抑制能力还没有涉及。未来的研究应着重考察三种抑制控制能力的特异性脑机制。另外, 目前对抑制控制能力的训练研究也较少, 而且已有的训练研究基本集中在压抑能力上, 未来应增加对其他两种抑制控制能力的考察。此外, 我们认为抑制训练的研究在某种意义上还可以回答抑制控制与工作记忆谁更基础的问题, 如果抑制控制能力通过训练得到了提高并且可以迁移到工作记忆和其他高级认知功能上, 则可以认为与工作记忆相比, 抑制控制能力是一个更为基础的机制。

总之, 抑制控制的研究在近年来方兴未艾, 并且越来越多的与高级认知功能联系在一起。未来应该进一步澄清各种抑制控制能力对高级认知功能的影响, 加强对抑制训练的研究, 以及更多的采用认知神经科学的技术来探索抑制控制的脑机制等。

参考文献

- 陈天勇, 李德明. (2006). 抑制和加工速度与液态智力的年轻化. *心理学报*, 38(5), 734-742.
- 党彩萍, 刘昌. (2009). 工作记忆和一般智力关系的研究现状与前瞻. *心理科学进展*, 17(4), 683-690.
- 李寿欣, 徐增杰, 陈慧媛. (2010). 不同认知方式个体在语篇阅读中抑制外部干扰的眼动研究. *心理学报*, 42(5), 539-546.
- 王敬欣, 白学军. (2002). 分心抑制的年龄差异. *心理科学*

- 进展, 10(2), 162–167.
- 杨小虎. (2005). 语言理解中的抑制机制研究综述. *当代语言学*, 7(4), 327–337.
- 赵笑梅, 陈英和. (2006). 认知发展领域的抑制研究. *心理科学进展*, 14(2), 216–222.
- 周治金, 陈永明, 杨丽霞. (2002). 语言理解中抑制机制的研究概况. *心理科学进展*, 10(4), 375–381.
- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30–60.
- Borella, E., Carretti, B., & De Beni, R. (2008). Working memory and inhibition across the adult life-span. *Acta Psychologica*, 128(1), 33–44.
- Borella, E., Ludwig, C., Dirk, J., & de Ribaupierre, A. (2011). The influence of time of testing on interference, working memory, processing speed, and vocabulary: Age differences in adulthood. *Experimental Aging Research*, 37(1), 76–107.
- Brewin, C. R., & Beaton, A. (2002). Thought suppression, intelligence, and working memory capacity. *Behaviour Research and Therapy*, 40(8), 923–930.
- Bunge, S. A., Ochsner, K. N., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (2001). Prefrontal regions involved in keeping information in and out of mind. *Brain*, 124, 2074–2086.
- Bunting, M. (2006). Proactive interference and item similarity in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 183–196.
- Burgess, G. C., Gray, J. R., Conway, A. R. A., & Braver, T. S. (2011). Neural mechanisms of interference control underlie the relationship between fluid intelligence and working memory span. *Journal of Experimental Psychology-General*, 140(4), 674–692.
- Burke, D. M., & Osborne, G. (2007). Aging and inhibition deficits: Where are the effects? In D.S. Gorfein & C.M. MacLeod (Eds.), *Inhibition in cognition* (pp. 145–162). Washington, DC: American Psychological Association.
- Connelly, S. L., Hasher, L., & Zacks, R. T. (1991). Age and reading: The impact of distraction. *Psychology and Aging*, 6(4), 533–541.
- Darowski, E. S., Helder, E., Zacks, R. T., Hasher, L., & Hambrick, D. Z. (2008). Age-related differences in cognition: The role of distraction control. *Neuropsychology*, 22(5), 638–644.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 10(2), 85–98.
- Dempster, F. N. (1991). Inhibitory processes: A neglected dimension of intelligence. *Intelligence*, 15(2), 157–174.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12(1), 45–75.
- Dempster, F. N., & Corkill, A. J. (1999). Individual differences in susceptibility to interference and general cognitive ability. *Acta Psychologica*, 101(2-3), 395–416.
- Duan, X. J., Shi, J. N., Wu, J. H., Mou, Y., Cui, H. R., & Wang, G. Q. (2009). Electrophysiological correlates for response inhibition in intellectually gifted children: a go/nogo study. *Neuroscience Letters*, 457, 45–48.
- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms underlying reduction in Stroop interference with practice for young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(2), 470–484.
- Dywan, J., & Murphy, W. E. (1996). Aging and inhibitory control in text comprehension. *Psychology and Aging*, 11(2), 199–206.
- Feyereisen, P., & Charlot, V. (2008). Are there uniform age-related changes across tasks involving inhibitory control through access, deletion, and restraint functions? A preliminary investigation. *Experimental Aging Research*, 34(4), 392–418.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology-General*, 133(1), 101–135.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17(2), 172–179.
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6(3), 316–322.
- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition: Theories, definitions, and research evidence. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and inhibition in cognition*. (pp. 175–204). San Diego, CA US: Academic Press.
- Hasher, L., & Zacks, R. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, 22, 193–225.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. K. A. Gopher (Ed.), *Attention and Performance XVII: Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application*, 17, 653–675.
- Jarrold, C., Tam, H., Baddeley, A. D., & Harvey, C. E. (2011).

- How does processing affect storage in working memory tasks? Evidence for both domain-general and domain-specific effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(3), 688–705.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(2), 169–183.
- Kemper, S., McDowd, J., Metcalf, K., & Liu, C. -J. (2008). Young and older adults' reading of distracters. *Educational Gerontology*, 34(6), 489–502.
- Kim, S., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2007). Aging and a benefit of distractibility. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(2), 301–305.
- Lecerf, T., & Roulin, J. -L. (2009). Individual differences in visuospatial working memory capacity and distractor inhibition. *Swiss Journal of Psychology*, 68(2), 67–78.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- Lustig, C., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory deficit theory: Recent developments in a “new view.” In D. S. Gorfein & C. M. MacLeod (Eds.), *Inhibition in cognition* (pp. 145–162). Washington, DC: American Psychological Association.
- Mackay, A. (2008). *The role of inhibition in reading for young and older adults*. US: ProQuest Information & Learning.
- McNab, F., Leroux, G., Strand, F., Thorell, L., Bergman, S., & Klingberg, T. (2008). Common and unique components of inhibition and working memory: An fMRI, within-subjects investigation. *Neuropsychologia*, 46(11), 2668–2682.
- Michel, F., & Anderson, M. (2009). Using the antisaccade task to investigate the relationship between the development of inhibition and the development of intelligence. *Developmental Science*, 12(2), 272–288.
- Minamoto, T., Osaka, M., & Osaka, N. (2010). Individual differences in working memory capacity and distractor processing: Possible contribution of top-down inhibitory control. *Brain Research*, 1335, 63–73.
- 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(1), 49–100.
- Mund, I., Bell, R., & Buchner, A. (2010). Age differences in reading with distraction: Sensory or inhibitory deficits? *Psychology and Aging*, 25, 886–897.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220–246.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging. *Human Brain Mapping*, 25(1), 46–59.
- Raz, N. (2004). The aging brain: Structural changes and their implications for cognitive aging. *New Frontiers in Cognitive Aging*, 115–133.
- Redick, T. S., Calvo, A., Gay, C. E., & Engle, R. W. (2011). Working memory capacity and go/no-go task performance: Selective effects of updating, maintenance, and inhibition. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 37(2), 308–324.
- Redick, T. S., Heitz, R. P., & Engle, R. W. (2007). Working memory capacity and inhibition: Cognitive and social consequences. In D. S. Gorfein & C. M. MacLeod (Eds.), *Inhibition in cognition*. (pp. 125–142). Washington, DC US: American Psychological Association.
- Rowe, G., & Hasher, L. (2011). Determinants of working memory performance. *Journal of Psychophysiology*, 25, 25–25.
- Rowe, G., Hasher, L., & Turcotte, J. (2010). Interference, aging, and visuospatial working memory: The role of similarity. *Neuropsychology*, 24(6), 804–807.
- Rowe, G., Turcotte, J., & Hasher, L. (2008). Age differences in visuospatial working memory. *Psychology and Aging*, 23(1), 79–84.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccamanno, L., & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(41), 14931–14936.
- Shilling, V. M., Chetwynd, A., & Rabbitt, P. M. A. (2002). Individual inconsistency across measures of inhibition: An investigation of the construct validity of inhibition in older adults. *Neuropsychologia*, 40, 605–619.
- Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., Francois, S. J., Kohut, M. L., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: The “Selective Improvement” and “Cardiovascular Fitness” hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine*, 36(3), 280–291.
- Tang, Y.Y., Lu, Q., Geng, X., Stein, E. A., Yang, Y., & Posner, M. I. (2010). Short-term meditation induces white matter changes in the anterior cingulate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(35), 15649–15652.
- Tang, Y.Y., Ma, Y., Wang, J., Fan, Y., Feng, S., Lu, Q., et al. (2007). Short-term meditation training improves attention

- and self-regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(43), 17152–17156.
- Thomas, R. C., & Hasher, L. (2012). Reflections of distraction in memory: Transfer of previous distraction improves recall in younger and older adults. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 38(1), 30–39.
- Tun, P. A., O'Kane, G., & Wingfield, A. (2002). Distraction by competing speech in young and older adult listeners. *Psychology and Aging*, 17(3), 453–467.
- Unsworth, N., Miller, J. D., Lakey, C. E., Young, D. L., Meeks, J. T., Campbell, W. K., et al. (2009). Exploring the relations among executive functions, fluid intelligence, and personality. *Journal of Individual Differences*, 30(4), 194–200.
- van Gerven, P. W. M., van Boxtel, M. P. J., Meijer, W. A., Willems, D., & Jolles, J. (2007). On the relative role of inhibition in age-related working memory decline. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(1), 95–107.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748–751.
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500–503.
- Wilkinson, A. J., & Yang, L. (2011). Plasticity of inhibition in older adults: Retest practice and transfer effects. *Psychology and Aging*. Advance online publication. doi: 10.1037/a0025926
- Witthoef, M., Sander, N., Suess, H. M., & Wittmann, W. W. (2009). Adult age differences in inhibitory processes and their predictive validity for fluid intelligence. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 16(2), 133–163.

Inhibitory Control and Higher Cognitive Functions

WANG Jun; CHEN Tian-Yong

(Center on Aging Psychology; Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In recent years, associations between inhibitory control and higher cognitive functions were emphasized. Cumulative empirical evidence indicated that inhibitory control was an essential mechanism under working memory, reading comprehension, fluid intelligence as well as other higher cognitive functions. Neuroimaging studies also suggested that some common brain areas (e.g. prefrontal lobe and parietal lobe) were involved in inhibitory control and those three higher cognitive functions. Meanwhile, evidence from cognitive development, cognitive aging and cognitive intervention domains consistently showed that inhibitory control was close related with higher cognitive functions. More attention should be paid to the definition and measurement, as well as brain mechanism and training of inhibitory control in the future.

Key words: inhibitory control; working memory; reading comprehension; fluid intelligence; cognitive intervention