

Researches about the Relationship between Intelligence and Working Memory and Its Mechanisms

Houyu Zhao*, Zhihao Tu, Jingrui Qu, Xinghua Shen#

Department of Naval Psychology, Faculty of Psychology, Naval Military Medical University, Shanghai
Email: Zhaohouyuecho@163.com, #xhshensmmuhyx@163.com

Received: Jun. 19th, 2019; accepted: Jul. 2nd, 2019; published: Jul. 12th, 2019

Abstract

Intelligence and working memory are two very important psychological processes. In recent years, the researches on the relationship between them and their mechanisms and causes have always been the focus of cognitive psychology and neuroscience. However, a unified conclusion has never been reached. By integrating the research results of domestic and foreign researchers, this paper explores the new progress in this field, and analyzes the possible reasons for the differences and disputes over the research results. Finally, we put forward some suggestions and opinions for future research.

Keywords

Intelligence, Fluid Intelligence, Working Memory, Controlled Attention, Cognitive Control, Neural Mechanisms

智力与工作记忆之间的关系及其机制的研究进展

赵后雨*, 屠志浩, 瞿靖芮, 沈兴华#

海军军医大学心理系航海心理学教研室, 上海
Email: Zhaohouyuecho@163.com, #xhshensmmuhyx@163.com

收稿日期: 2019年6月19日; 录用日期: 2019年7月2日; 发布日期: 2019年7月12日

*第一作者。

#通讯作者。

摘要

智力和工作记忆是两种非常重要的心理过程。近年来关于二者之间关系及其机制的研究一直都是认知心理学和神经科学的热点，但是始终没有形成统一的理论。本文通过整合国内外研究者的研究成果，探讨了该领域研究的新进展，并分析了这方面研究结果存在差异和争议的可能原因，同时对未来的研究提出了一些建议和意见。

关键词

智力，流体智力，工作记忆，控制性注意，认知控制，神经机制

Copyright © 2019 by author(s) 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

智力和工作记忆是心理学中两个研究最广泛的概念。他们都与高级认知相关，都涉及控制性注意和认知控制等心理过程，神经心理学研究显示前额叶皮层和顶叶皮层在智力和工作记忆中都发挥重要作用。因此，毫无意外关于这两个概念之间联系的研究成为认知心理学和神经科学的热点。

智力被认为是生物进化史上人类最显著的最独特的特征(Premack, 2004; Roth & Dicke, 2005)，智力是一项极其重要的个体差异，因为它可以预测个体在一系列认知、学术和职业相关任务中的表现(Hikaru, Yasuyuki, Rui, Ryoichi, Yuka, Seishu et al., 2018)。智力被综合为两个组成部分，即流体智力(fluid intelligence, Gf)，反映了通过抽象解决问题的能力，并由大脑中的多需求系统支持(Woolgar, Duncan, Manes, & Fedorenko, 2018)，以及晶体智力(crystallized intelligence, Gc)，涉及从以前的知识和经验中学习的能力，智力的评估方式多采用瑞文推理测试(Raven's Progressive Matrices, RPM)、卡特尔文化公平智力测验(Catell's Culture Fair Intelligence test)及韦氏智力测验(Wechsler Intelligence Scale, WAIS-R)、智商量表(Full Scale Intelligence Quotient, FCIQ)等测验进行，也有研究使用游戏来测量智力，如知觉迷宫游戏、象棋、围棋等。

工作记忆是一个对当前的任务信息进行暂时储存和加工的容量有限的记忆系统，是思维过程的一个基础支撑结构。关于工作记忆的模型有很多，但是目前最为广泛接受的是 Baddeley 和 Hitch 于 1974 年提出的多成分模型，这个模型包括一个中央执行系统负责信息的加工、协调、计划以及监督管理，以及两个特殊的容量有限的部分即语音回路和视觉空间画板分别储存语音和视觉空间信息，还有一个具有整合功能的情景缓冲器(Baddeley, 2000; Baddeley, Allen, & Hitch, 2011; Baddeley & Hitch, 1974)。工作记忆容量(working memory capacity)是反应工作记忆能力的重要指标，一般包括言语工作记忆容量和视觉空间工作记忆容量(Chein & Weisberg, 2014)。目前应用最广泛的测量工作记忆容量的工具为复杂广度任务(complex span task)和 N-back 任务。复杂广度任务测量主动回忆和同时处理信息的能力(Blacker, Negoita, Ewen, & Courtney, 2017)。N-back 任务要求被试者将刚刚出现过的刺激与前面第 n 个刺激相比较，通过控制当前刺激与目标刺激间隔的刺激个数来操纵负荷，它测量的主要是被试更新加工信息的能力(刘聪，徐晓东，戴好运，侯凤贞，2017)。

工作记忆研究中最普遍、最重要的发现是它与流体智力之间的高度相关关系。这种关系的性质一直

饱受争议,一些研究者认为二者本质上是相同的概念(Martínez, Burgaleta, Román, Escorial, Shih, Quiroga, & Colom, 2011),另一些研究者认为这两个概念明显是不同的(Ackerman, Beier, & Boyle, 2005; Heitz, Redick, Hambrick, Kane, Conway, & Engle, 2006)。虽然很多研究都表明这两个概念之间具有相关性,但是造成二者相关的原因和机制还不清楚。有人认为简单的记忆维持可以完全解释这种相关(Colom, Abad, Quiroga, Shih, & Flores-Mendoza, 2008)。但是目前被广泛接受的观点是二者均依赖于一些重要的心理能力如控制性注意、认知控制和使用有效策略等,而且研究显示二者可能依赖相同的脑区。本文总结了关于工作记忆与流体智力之间关系的最新研究,就二者之间的关系以及造成二者之间联系的原因和机制进行总结。

2. 工作记忆容量(Working Memory Capacity, WMC)与流体智力(General Fluid Intelligence, Gf)之间的关系

2.1. WMC 与 Gf 是相同的概念

Kyllonen and Christal 最先对 WMC 和 g 的个体差异进行了潜在变量分析,他们发表了一系列研究表明心理测量的工作记忆容量可能完全等同于心理测量的流体智力(Kyllonen & Dennis, 1996)。一些研究者也认为 WMC 和 Gf 是相同的概念(Colom, Abad, Quiroga, Shih, & Flores-Mendoza, 2008)。

2.2. WMC 与 Gf 高度相关,工作记忆是导致个体智力差异的原因, WMC 可以预测 Gf 和个体表现

虽然一些研究者认为 WMC 与 Gf “同功同构”,但是大多数研究表明二者之间高度相关,但是并非同一概念。上世纪 90 年代末,Engle 和他的同事发现相比较于短时记忆,工作记忆可以更好的预测流体智力(Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999),从那时起关于工作记忆容量心理测量和个体差异的研究开始大规模爆发。各种检测 WMC 与 Gf 这两个概念之间潜在关系的研究反复证明工作记忆是流体智力最好的预测因子(Oberauer, Süß, Wilhelm, & Sander, 2007)。研究者发现工作记忆的个体差异在整个一生过程中都是比较可靠的,而且在很大程度上与流体智力个体差异的结果遵循相同的模式,但是二者并不总是相同。例如,有研究发现即使在控制了流体智力的个体差异之后,复杂广度任务仍然可以预测个体在多任务上的差异(Hambrick, Oswald, Darowski, Rench, & Brou, 2010)。另外,某一领域专业人员工作记忆容量的个体差异可以预测他们的表现。例如,在一项研究中,被试是经验丰富的飞行员,他们在被剥夺睡眠 35 h 之后,在操作广度任务上的表现可以解释他们在操作高级飞行模拟器时 42%的失误(Lopez, Previc, Fischer, Heitz, & Engle, 2012)。因此,许多研究者认为工作记忆容量可以很好的预测流体智力以及个体的表现。

2.3. WMC 与 Gf 高度相关,但是工作记忆并不是导致智力个体差异的原因, WMC 不能预测 Gf 和个体表现

由于 WMC 与 Gf 高度相关,许多研究者认为工作记忆的个体差异是智力存在个体差异的原因。但是,现在很多研究者认为这一观点是错误的,甚至得出此结论的 Engle 本人也这样认为(Engle, 2018)。他分析了曾经得出该结论的原因,当时的结论是基于对 WMC 高低的两组被试进行准实验研究(Quasi-experimental study)得出的,这种方法的问题是,根据在 WMC 任务上的表现选择被试,但是由于 WMC 与流体智力存在很强的相关性,高 WMC 的被试往往流体智力也高。只有在研究中测量出每个变量的全部范围,才能分离这两个个体差异变量,这样才可以对它们进行相互比较。这需要建立结构方程模型(Structural Equation Modeling),但是该过程需要的被试比准实验研究要多的多。虽然早期的研究显示, WMC 与阅读理解之间有强烈的相关性,但当对一个大样本进行研究以便可靠地对比这两个变量时,

发现这种关系实际上是流体智力的基础机制和阅读理解之间的关系，而不是与 WMC 之间的关系(Martin, Shipstead, Harrison, Redick, Bunting, & Engle, 2019)。

Unsworth 等人提出了一种“容量假说”(capacity hypothesis)，即推理能力受到个体在积极状态下可以暂时储存的信息量的限制，储存容量大的个体可以在工作记忆中暂时维持较多的信息，对流体智力而言，这意味着个体可以同时参照更多的子目标、假设和解决方案，因此可以比储存容量小的个体更好的解决问题(Unsworth, Fukuda, Awh, & Vogel, 2014)。这个假说导致一种假设，即随着流体智力项目能力需求的增加，WMC 与 Gf 之间的相关关系会增强。一项研究使用中的项目测试了这项预测，Raven 渐进矩阵可以根据解决每一项目所需要的规则记号数进行分类，从而预测心理项目的需求。然而，与容量假设相反，根据视觉数组范式(k)估计的 WMC 与 Raven 项目的解决准确性之间的关系并没有随着规则记号数的增加而增加。此外，重复 Unsworth 和 Engle 的研究，使用复杂广度任务的表现与 Raven 项目的解决准确性之间的关系也没有随容量需求而变化。研究结果显示无论如何通过何种测量工作记忆，它都不是导致流体智力个体差异的原因(Burgoyne, Hambrick, & Altmann, 2019)。

3. WMC-Gf 相关机制

WMC 任务主要反映的是发散思想漩涡中保持信息的能力。而测量 Gf 的任务在很大程度上反映了一种相反的能力，即思考某件目前可能很重要的事情的能力，但当它很快被证明不重要或错误时，该信息就会被排除，并被遗忘。这两个概念在很大程度上是矛盾的，但是为什么二者之间相关性很强呢($r = 0.6 - 0.8$)？目前关于造成二者之间强相关的原因的解释主要有以下几种：

3.1. 控制性注意(Controlled Attention/Attention Control)

控制性注意是一个容量有限的注意集中机制，可以对信息进行控制性加工或者在面对分心刺激和干扰时将注意力集中于与任务相关的信息上(Grol, Schwenzfeier, Stricker, Booth, Temple-McCune, Derakshan et al., 2018)，也就是我们平时所说的集中注意力的能力。

关于 WMC-Gf 相关的机制，目前最为广泛接受的解释是控制性注意的能力(Engle, 2018)。能够更好地控制注意力，将注意力用来保持相关的信息，排除无关或者干扰信息的个体在智力测验和工作记忆广度任务上的表现都比较好(Stanovich & Toplak, 2012)。控制性注意能力高的个体在控制性摄取、克服注意干扰等方面会表现出明显的优势，一系列研究都证明了这一点。例如，Rosen 和 Engle 使用分类流畅任务(category fluency task)(Rosen & Engle, 1997)测试了不同工作记忆容量个体的控制性提取情况。Engle 和 Kane 测试了不同工作记忆容量个体在学习和回忆词表时的前摄干扰情况(Kane & Engle, 2000)。还有研究利用逆向扫视任务(anti-saccade task)考察不同工作记忆容量个体的注意操作情况(Thomas, Rossell, Myles, Tan, Neill, Carruthers, Sumner, Bozaoglu, Gurvich, & Caroline, 2018)。逆向扫视任务是一种非言语的视觉定向任务，被试在完成该任务时需要在面对干扰的情况下保持自己的注意目标。上述研究都发现，高 WMC 的被试表现比低 WMC 的被试要好。因此研究者认为 WMC 的个体差异，反映了个体在编码和提取过程中、以及视觉定向过程中的控制性注意差异。而智力测验比如瑞文推理测验也需要控制性注意的能力，在寻找下一个新规则的同时要先记住上一个旧规则，并在面对干扰信息时过滤掉无关特征。被试在推理智力测验上的表现反映了个体的控制性注意能力。因此许多研究者都认为控制性注意是工作记忆与流体智力的联系枢纽，是 WMC-g 相关的重要机制。

3.2. 策略的运用(Strategy Use)

策略可以被定义为“为了完成一项任务或者达到一项更高的目标所使用的一种或者一系列的程序”，

许多任务或者目标需要一系列不同的策略，一些策略明显比另外一些更有效。

Unsworth 和 Spillers (2010)的研究表明，即使在控制了控制性注意的差异之后，WMC 的测量仍然能够解释 Gf 结构中的实质性差异(Unsworth & Spillers, 2010)。因此可能控制性注意并不是 WMC-Gf 相关的唯一机制。一些研究表明，策略的运用也能解释 WMC-Gf 之间的相关：工作记忆能力高的被试可以使用更有效的策略，导致他们在流体智力测验任务中有更好的表现。Wiley 等人针对 WMC-Gf 的相关关系提出了一个干扰解释(interference/distraction) (Jarosz & Wiley, 2012)。与前面提到的控制性注意的不同之处在于，他们的研究发现 WMC-Gf 相关的原因除了排除无关信息干扰的能力之外，工作记忆能力高的个体可以使用一些策略减少对无关信息的暴露，这些策略的运用可能也是 WMC-Gf 相关的机制之一。还有研究通过直接用自我报告的问卷测量运用策略的情况，用实验相关性的方法操控被试运用策略的情况，结果发现诱导所有的被试均采用一些有效的策略会减少研究过程中测量出的 WMC 与流体智力测验测量结果之间的相关(Gonthier & Thomassin, 2015)。其他的研究通过给被试施加一个附加任务或者缩短呈现时间，以达到干扰被试使用有效策略的目的，都会降低 WMC-Gf 之间的相关(Ang & Lee, 2010; Schelble, Therriault, & Miller, 2012)。因此，策略的运用可能是 WMC-Gf 相关的驱动力之一(Thomassin, Gonthier, Guerraz, & Roulin, 2015)。

3.3. 认知控制(Cognitive Control)

认知控制是指个体在特定的情境中，灵活地调动认知资源来调整想法和行为的一种目标导向的心理活动(Jin, 2014; 杨国春, 李政汉, 伍海燕, 刘勋, 2019)。

另外一项研究从认知控制与智力的关系入手，考察了认知控制与智力的关系，以及认知控制与工作记忆的关系(Yu, Alfredo, Tingting, Tae, Qiong, Caiqi, Yanhong, & Jin, 2019)。用韦氏成人智力量表测量智力，用 N-back 任务和工作记忆复杂广度任务测量工作记忆，用一项知觉决策任务和注意网络测试(the attention network test)测量认知控制，使用结构方程模型检验智力、认知控制和工作记忆之间的关系，结果表明，认知控制与工作记忆共享很大的变异量，两种测量均与流体智力和晶体智力密切相关，与流体智力的相关性强于晶体智力。这些发现表明，认知控制对一般的智力能力，特别是流体智力有着重要的贡献。另外，认知控制与工作记忆之间高度相关表明认知控制可能是工作记忆与智力相关的机制。

3.4. 前额叶和顶叶皮层

另一项指向工作记忆和流体智力之间高度相关关系的证据来自于神经心理学研究。最早的关于工作记忆相关的神经反应是在猕猴的前额叶中记录到的，虽然目前关于前额叶的神经放电活动是持续性的还是短暂爆发性的还存在争议，但都肯定了前额叶皮层在工作记忆中的重要作用(Miller & Cohen, 2001)。除此之外，顶叶皮层也被认为是工作记忆表征存储的关键脑区，与工作记忆容量相关的脑活动最早在后顶叶去观察到(Vogel & Machizawa, 2004)。一项研究(Tang, Eaves, Ng, Carpenter, Mai, Schroeder et al., 2010)让被试操作一系列 n-back 工作记忆任务，同时使用 FMRI 和 DTI 两种技术探测脑活动，结果发现任务激活的主要脑区在右侧前额叶和双侧顶叶。大量的脑损伤研究也进一步证明了前额叶以及顶叶活动对工作记忆和目标导向行为的因果性作用(Szczepanski & Knight, 2014)。关于智力，虽然目前对于具体的脑区仍存在一些争议，但多数研究结果都表明额叶和顶叶皮层在智力中发挥重要作用(党彩萍, 全鹏, 刘联琦, 2014)。Jung 和 Haier (Jung & Haier, 2007)汇总了多个研究共同关注的几个脑区，通过白质结构将脑区皮层和顶区联系起来，提出了顶额整合理论(Parieto-Frontal Integration Theory, P-FIT)，该理论认为，一般智力水平反映了顶额神经网络如何有效的加工信息。许多研究结果都支持该理论强调的额顶叶皮层。Glascher 等(Glaischer, Rudrauf, & Colom, 2010)使用基于体素的损伤症兆图(Voxel-based Lesion-symptom

Mapping)技术检测 241 位脑损伤病人, 同样发现额顶区分散的神经联接与智力相关显著。Masunaga 等 (Masunaga, Kawashima, Horn, Sassa, & Sekiguchi, 2008)用 fMRI 扫描被试执行卡特尔文化公平智力测验的脑区, 发现 stimulus-response 联接的学习激活了顶叶皮层, 而概括、评价假设和选择策略活动激活了额叶皮层。这与使用其它智力测验如瑞文推理测试所做的脑成像研究得出的结论是一致的。总而言之, 工作记忆以及智力与前额叶和顶叶的相关已经得到了广泛的认可(尚金星, 徐珑, 张忠, 2018), 神经基础可能是二者相关的机制之一。

4. 关于 WMC-Gf 关系的研究结论存在差异和争议的原因:

1) 关于 WMC-Gf 关系的研究结果的争议可能也来源于分析方法的不足。研究者应用潜变量分析法分析工作记忆与智力之间的关系, 二者之间的相关系数, 并不是直接从原始数据中得到的, 而是来源于结构方程对潜变量的复合预测, 但是许多研究者对这种方法的有效性表示怀疑。潜变量分析法的不足可能夸大了二者之间的相关关系。

2) 工作记忆与流体智力测试材料内容上的重叠可能夸大了二者的相关。进行工作记忆广度任务所需要的加工过程超出了工作记忆或是执行控制的范围, 可能与智力测验任务存在重叠。例如, 运算广度任务需要数学能力, 阅读广度任务涉及言语能力, 而且策略训练可以提高工作记忆广度任务的分数。当测量两种能力的两项任务激活了同一类心理活动时, 那么得出这两种能力相关的结论似乎说服力并不高, 而且用一种能力去预测另外一种能力似乎意义不大。

3) 研究方法的不同可能导致了研究结论的不同。有些研究采用的是准实验的研究方法, 虽然准实验的优点在于它所要求的条件灵活, 在无法控制所有可能影响实验结果的无关变量时, 具有广泛的可用性。但是准实验的研究没有随机分配实验对象到实验组和控制组, 严谨性比较低, 因此所产生的因果结论的效度比真正的实验研究低。尤其在研究被试数量比较少的情况下, 容易受到随机因素的影响, 得出的结论并不可靠。

4) 就像本文引言中所提到的, 无论是工作记忆还是智力, 其评估方式都有很多种, 各研究所选取的测量方法并不相同, 可能也是造成研究结果不同的一个原因。

5) 相关分析得出的结论并不代表因果关系, 也不能根据相关关系建立预测的结论(郭芳, 田林玮, 2019)。很多研究者分析出工作记忆与流体智力之间强烈的相关关系, 就认为工作记忆的个体差异导致了流体智力的个体差异或者认为工作记忆可以预测流体智力, 这些结论都是不正确的, 缺乏统计学依据的。

5. 未来研究需要注意和解决的问题

1) 虽然所有的任务都可能涉及到不止一种的加工过程, 但是在设计工作记忆广度任务和智力测验任务时都要尽可能减少其它加工过程的干扰, 这样对这两者之间的比较以及相关关系的分析才更有意义和说服力。

2) 目前关于工作记忆和智力所依赖的神经机制已经有了较多的研究而且取得了很多实质性的进展, 二者与前额叶和顶叶的相关已经被大多数学者认可, 但是其中的具体机制和神经环路仍然有许多值得探索的地方。我们认为由于心理活动都有相应的认知和神经机制, 因此应该进行更多更精细的神经脑科学研究探索工作记忆与智力之间的本质关系, 而且有物质基础和影像学证据的结论可能更具有说服力。

3) 目前研究的一个不足之处是还不清楚 working memory capacity 中“capacity”的概念以及它与控制性注意之间的关系(Shipstead, Harrison, & Engle, 2015)。总体来说, 文献中关于 WMC 任务到底测量了什么还存在分歧。“Capacity”经常被定义为主动状态下可以保持的信息单元的数目(Cowan, 2017), 但是有一些研究者认为容量的测量应该被解释为控制性注意的指数(Engle, 2018)。而且各研究使用的工作记忆广

度任务太过于宽泛, 很难搞清楚这些任务测量的具体内容以及这些任务之间的关系。

4) 关于三个概念“中央执行控制(central executive control)”、“控制性注意(controlled attention/attention control)”、“认知控制(cognitive control)”, 它们在工作记忆和智力中都发挥着重要的作用, 但是它们是否为同一概念或者它们之间有何种关系呢? 虽然有研究提出执行控制是注意力的一个功能, 其相互作用是认知控制的基础(Mackie, Van Dam, & Fan, 2013), 但是不同的研究有不同的表述, 容易造成困惑, 因此希望未来的研究可以从认知和神经的机制搞清楚这三者之间的关系。

5) 相关分析可在一定程度上为深入挖掘关键科学问题提供初步依据, 但是在进行分析时, 研究者必须正视相关性和因果关联的辩证关系。未来的研究应该从既往研究所积累的相关关系中去伪存真, 采用科学谨慎的统计方法拨开因果关系的迷雾, 探索工作记忆与智力之间的真正关系。

6) 得出结论最可靠的方法是对前人的研究结果进行系统性综述以及 meta 分析, 但是由于各研究者采用的研究方法、选择的研究工具不同, 因此很难对研究结果进行总结与分析, 这也是目前关于工作记忆与智力之间关系存在争议的原因之一, 因此在未来的研究中要尽量实现研究方法与测量工具的统一。

智力和工作记忆都是极其重要的认知概念, 该领域的研究虽然已经取得了极大的进展, 但是还有许多值得探索的地方。在未来研究中, 将行为学研究和神经心理学研究结合, 进一步揭示工作记忆和智力的内容、工作原理以及神经机制将对清楚地描述和解释人类认知过程具有极其重要的意义。

参考文献

- 党彩萍, 全鹏, 刘联琦(2014). 一般智力的神经机制. *南京师大学报: 社会科学版*, (4), 116-122.
- 郭芳, 田林玮(2019). 相关性因果关联. *中华医学杂志*, 99(10), 790-795.
- 刘聪, 徐晓东, 戴好运, 侯凤贞(2017). 基于 n-back 认知任务的正常脑老化事件相关电位分析. *生物医学工程学报*, (34), 830.
- 尚金星, 徐琰, 张忠(2018). 前额叶损伤与视空间工作记忆的神经机制研究进展. *中华神经创伤外科电子杂志*, 4(2), 114-115.
- 杨国春, 李政汉, 伍海燕, 刘勋(2019). 认知控制的一般性/特异性机制: 研究逻辑和争论. *生理学报*, (1), 140-148.
- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? *Psychological Bulletin*, 131, 30-60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.30>
- Ang, S. Y., & Lee, K. (2010). Exploring Developmental Differences in Visual Short-Term Memory and Working Memory. *Developmental Psychology*, 46, 279-285. <https://doi.org/10.1037/a0017554>
- Baddeley, A. (2000). The Episodic Buffer: A New Component of Working Memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in Visual Working Memory: The Role of the Episodic Buffer. *Neuropsychologia*, 49, 1393-1400. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042>
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47-90). London: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Blacker, K. J., Negoita, S., Ewen, J. B., & Courtney, S. M. (2017). N-Back versus Complex Span Working Memory Training. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1, 434-454. <https://doi.org/10.1007/s41465-017-0044-1>
- Burgoyne, A., Hambrick, D., & Altmann, E. (2019). Is Working Memory Capacity a Causal Factor in Fluid Intelligence? *Psychonomic Bulletin & Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01606-9>
- Chein, J. M., & Weisberg, R. W. (2014). Working Memory and Insight in Verbal Problems: Analysis of Compound Remote Associates. *Memory & Cognition*, 42, 67-83. <https://doi.org/10.3758/s13421-013-0343-4>
- Colom, R., Abad, F. J., Quiroga, M., Shih, P., & Flores-Mendoza, C. (2008). Working Memory and Intelligence Are Highly Related Constructs, But Why? *Intelligence*, 36, 584-606. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.01.002>
- Cowan, N. (2017). The Many Faces of Working Memory and Short-Term Storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 1158-1170. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6>
- Engle, R. W. (2018). Working Memory and Executive Attention: A Revisit. *Perspectives on Psychological Science*, 13, 190-193. <https://doi.org/10.1177/1745691617720478>

- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. (1999). Working Memory, Short-Term Memory, and General Fluid Intelligence: A Latent-Variable Approach. *Journal of Experimental Psychology General*, *128*, 309-331. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.309>
- Glaischer, J., Rudrauf, D., Colom, R. et al. (2010). The Distributed Neural System for General Intelligence Revealed by Lesion Mapping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*, 4705-4709. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910397107>
- Gonthier, C., & Thomassin, N. (2015). Strategy Use Fully Mediates the Relationship between Working Memory Capacity and Performance on Raven's Matrices. *Journal of Experimental Psychology: General*, *144*, 916-924. <https://doi.org/10.1037/xge0000101>
- Grol, M., Schwenzfeier, A. K., Stricker, J., Booth, C., Temple-McCune, A., Derakshan, N. et al. (2018). The Worrying Mind in Control: An Investigation of Adaptive Working Memory Training and Cognitive Bias Modification in Worry-Prone Individuals. *Behaviour Research and Therapy*, *103*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2018.01.005>
- Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Darowski, E. S., Rench, T. A., & Brou, R. (2010). Predictors of Multitasking Performance in a Synthetic Work Paradigm. *Applied Cognitive Psychology*, *24*, 1149-1167. <https://doi.org/10.1002/acp.1624>
- Heitz, R. P., Redick, T. S., Hambrick, D. Z., Kane, M. J., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2006). Working Memory, Executive Function, and General Fluid Intelligence Are Not the Same. *Behavioral and Brain Sciences*, *29*, 135-136. <https://doi.org/10.1017/S0140525X06319036>
- Hikaru, T., Yasuyuki, T., Rui, N., Ryoichi, Y., Yuka, K., Seishu, N. et al. (2018). General Intelligence Is Associated with Working Memory-Related Brain Activity: New Evidence from a Large Sample Study. *Brain Structure and Function*, *223*, 4243-4258.
- Jarosch, A. F., & Wiley, J. (2012). Why Does Working Memory Capacity Predict RAPM Performance? A Possible Role of Distraction. *Intelligence*, *40*, 427-438. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.06.001>
- Jin, F. (2014). An Information Theory Account of Cognitive Control. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 680. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00680>
- Jung, R. E., & Haier, R. J. (2007). The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of Intelligence: Converging Neuroimaging Evidence. *Behavioral & Brain Sciences*, *30*, 154-155. <https://doi.org/10.1017/S0140525X07001185>
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-Memory Capacity, Proactive Interference, and Divided Attention: Limits on Long-Term Memory Retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*, 336-358. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.2.336>
- Kyllonen, P. C., & Dennis, A. (1996). Is Working Memory Capacity Spearman's G. In I. Dennis, & P. Tapsfield (Eds.), *Human Abilities: Their Nature and Measurement* (pp. 49-75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lopez, N., Previc, F. H., Fischer, J., Heitz, R. P., & Engle, R. W. (2012). Effects of Sleep Deprivation on Cognitive Performance by United States Air Force Pilots. *Journal of Applied Research in Memory & Cognition*, *1*, 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2011.10.002>
- Mackie, M. A., Van Dam, N. T., & Fan, J. (2013). Cognitive Control and Attentional Functions. *Brain and Cognition*, *82*, 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.05.004>
- Martin, J. D., Shipstead, Z., Harrison, T., Redick, T. S., Bunting, M., & Engle, R. W. (2019). The Role of Maintenance and Disengagement in Predicting Reading Comprehension and Vocabulary Learning. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*. <https://doi.org/10.1037/xlm0000705>
- Martínez, K., Burgaleta, M., Román, F. J. et al. (2011). Can Fluid Intelligence Be Reduced to "Simple" Short-Term Storage? *Intelligence*, *39*, 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2011.09.001>
- Masanaga, H., Kawashima, R., Horn, J. L., Sassa, Y., & Sekiguchi, A. (2008). Neural Substrates of the Topology Test to Measure Fluid Reasoning: An fMRI Study. *Intelligence*, *36*, 607-615. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.01.006>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Oberauer, K., Süß, H. M., Wilhelm, O., & Sander, N. (2007). *Individual Differences in Working Memory Capacity and Reasoning Ability*. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in Working Memory* (pp. 49-75). New York, NY: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0003>
- Premack, D. (2004). Psychology: Is Language the Key to Human Intelligence? *Science*, *303*, 318-320. <https://doi.org/10.1126/science.1093993>
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The Role of Working Memory Capacity in Retrieval. *Journal of Experimental Psychology General*, *126*, 211-227. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.126.3.211>
- Roth, G., & Dicke, U. (2005). Evolution of the Brain and Intelligence. *Science*, *9*, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.005>

- Schelble, J. L., Theriault, D. J., & Miller, M. D. (2012). Classifying Retrieval Strategies as a Function of Working Memory. *Memory & Cognition*, 40, 218-230. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0149-1>
- Shipstead, Z., Harrison, T. L., & Engle, R. W. (2015). Working Memory Capacity and the Scope and Control of Attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77, 1863-1880. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-0899-0>
- Stanovich, K. E., & Toplak, M. E. (2012). Defining Features versus Incidental Correlates of Type 1 and Type 2 Processing. *Mind & Society*, 11, 3-13. <https://doi.org/10.1007/s11299-011-0093-6>
- Szczepanski, S., & Knight, R. (2014). Insights into Human Behavior from Lesions to the Prefrontal Cortex. *Neuron*, 83, 1002-1018. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.08.011>
- Tang, C. Y., Eaves, E. L., Ng, J. C., Carpenter, D. M., Mai, X., Schroeder, D. H. et al. (2010). Brain Networks for Working Memory and Factors of Intelligence Assessed in Males and Females with fMRI and DTI. *Intelligence*, 38, 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2010.03.003>
- Thomas, E., Rossell, S., Myles, J., Tan, E., Neill, E., Carruthers, S., Sumner, P., Bozaoglu, K., & Gurvich, C. (2018). Working Memory and Attention Influence Antisaccade Error Rate in Schizophrenia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 25, 174-183. <https://doi.org/10.1017/S1355617718001066>
- Thomassin, N., Gonthier, C., Guerraz, M., & Roulin, J. (2015). The Hard Fall Effect: High Working Memory Capacity Leads to a Higher, But Less Robust Short-Term Memory Performance. *Experimental Psychology*, 62, 89-97. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000276>
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010). Working Memory Capacity: Attention, Memory, or Both? A Direct Test of the Dual-Component Model. *Journal of Memory and Language*, 62, 392-406. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.02.001>
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working Memory and Fluid Intelligence: Capacity, Attention Control, and Secondary Memory Retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2014.01.003>
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural Activity Predicts Individual Differences in Visual Working Memory Capacity. *Nature*, 428, 748-751. <https://doi.org/10.1038/nature02447>
- Woolgar, A., Duncan, J., Manes, F., & Fedorenko, E. (2018). Fluid Intelligence Is Supported by the Multiple Demand System not the Language System. *Nature Human Behaviour*, 2, 200-204. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0282-3>
- Yu, C., Alfredo, S., Tingting, W., Tae, H. K., Qiong, W., Caiqi, C., Yanhong, W., & Jin, F. (2019). Testing a Cognitive Control Model of Human Intelligence. *Scientific Reports*, 9, Article No. 2898. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39685-2>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7273, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

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

期刊邮箱: ap@hanspub.org