

工作记忆的认知模型与神经机制： 从分离模块到动态交互网络

郝家萍

苏州大学教育学院，江苏 苏州

收稿日期：2026年8月31日；录用日期：2026年9月30日；发布日期：2026年10月10日

摘要

工作记忆作为人类高级认知功能的核心，其研究已从静态的模块化模型演进为动态的交互网络视角。本文系统综述了工作记忆的经典认知模型(如Baddeley的多成分模型、Cowan的嵌入式过程模型)及其对应的神经机制。神经科学研究证实了前额叶、顶叶等脑区在工作记忆执行与存储中的核心作用，并进一步揭示了神经振荡同步、大规模脑网络(如前额叶-顶叶网络与默认模式网络)动态平衡以及多巴胺能、谷氨酸能神经调质在其中扮演的关键角色。这些发现不仅支持了经典模型，也对其提出了修正与挑战；围绕工作记忆容量限制的两大竞争性理论，神经振荡与大规模脑网络视角提供了新的解释路径，推动该领域走向一个更强调动态交互的整合框架。本文进一步提出若干可检验的科学假说，为理解相关神经精神疾病的病理机制及开发新型干预策略提供重要启示。

关键词

工作记忆，多成分模型，前额叶皮层，神经振荡

Working Memory: Cognitive Models and Neural Mechanisms: From Segregated Modules to Dynamic Interactive Networks

Jiaping Hao

School of Education, Soochow University, Suzhou Jiangsu

Received: August 31, 2026; accepted: September 30, 2026; published: October 10, 2026

Abstract

As a core component of human high-level cognitive function, working memory research has evolved

文章引用: 郝家萍(2026). 工作记忆的认知模型与神经机制: 从分离模块到动态交互网络. *心理学进展*, 16(10), 101-108. DOI: 10.12677/ap.2026.1610473

from static modular models to dynamic interactive network perspectives. This article systematically reviews classic cognitive models of working memory (such as Baddeley's multi-component model and Cowan's embedded-process model) along with their corresponding neural mechanisms. Neuroscience research has confirmed the pivotal role of brain regions such as the prefrontal and parietal cortices in working memory execution and storage. Furthermore, it reveals the critical roles played by neural oscillatory synchronization, the dynamic balance of large-scale brain networks (such as the frontoparietal network and the default mode network), and neuromodulators including dopamine and glutamate. These findings not only corroborate classical models but also revise and challenge them. Regarding the two competing theories concerning the limits of working-memory capacity, perspectives from neural oscillations and large-scale brain networks offer novel interpretive pathways, driving the field toward an integrative framework that emphasizes dynamic interactions. This paper further puts forward several testable scientific hypotheses, which provide important implications for understanding the pathological mechanisms of neuropsychiatric disorders and developing novel intervention strategies.

Keywords

Working Memory, Multi-Component Model, Prefrontal Cortex, Neural Oscillations

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

试想一下心算一道数学题，比如“ $28 + 65$ ”：你需要在脑中暂时记住“28”和“65”这两个数字(存储)，然后执行加法运算规则，将个位和十位分别相加，并处理好进位(加工)，最后得出并记住结果“93”。这个看似简单的过程，恰恰依赖于我们大脑中一个至关重要的核心系统——工作记忆。它不仅是记忆的暂存区，更是我们进行思考、理解和决策的“心理工作台”，是我们高级认知活动的基石(Baddeley & Hitch, 1974)。

工作记忆通常被定义为一种对有限信息进行临时存储与操纵加工的容量有限的认知系统。它强调对信息的主动操作，而不仅仅是被动地保持。这一点将其与概念相近的短时记忆区分开来：后者更侧重于信息的短暂存储，而工作记忆则是一个包含存储、加工和控制功能的、更复杂和动态的整合系统(Cowan, 2008)。正如电脑不仅需要内存条来临时存放数据，更需要中央处理器来对这些数据进行计算，工作记忆正是我们大脑的“CPU + RAM”组合。

工作记忆的重要性不言而喻。它是语言理解、学习新知识、逻辑推理、计划决策等几乎所有复杂认知功能的基础。其效能的高低直接影响个体的学业成就、专业表现和日常生活(Diamond, 2013)。此外，工作记忆的缺陷也被认为是多种神经发育障碍和精神疾病的核心特征之一，例如 ADHD 患者的注意力调控困难，精神分裂症患者的思维紊乱和执行功能障碍，均与其工作记忆系统的损伤密切相关。因此，深入探究工作记忆，不仅有助于揭示人类智能的本质，也对相关临床疾病的诊断和干预具有重大的现实意义(Fuster, 2015; Goldman-Rakic, 1995; Lee & Park, 2005; Martinussen et al., 2005)。

基于其核心重要性，本文旨在对工作记忆的经典认知模型及其神经机制研究进行系统梳理与综述。本文将首先回顾以 Baddeley 和 Hitch 的多成分模型为代表的经典认知理论框架，阐明其核心组件与功能；随后，将重点阐述支持这些认知功能的神经基质，包括前额叶皮层、顶叶皮层等关键脑区及其网络的作

用；最后，本文将探讨神经科学研究的新发现(如神经振荡、大规模脑网络动态交互)如何挑战并推动经典模型的演进，最终展望未来跨学科整合的研究方向(Miyake & Shah, 1999)。

2. 工作记忆的经典认知模型

工作记忆理论的发展是一个不断演进和深化的过程。其概念雏形可追溯至 Atkinson 和 Shiffrin (1968) 提出的多重存储模型。在该模型中，“短时存储”被视为一个单一的、容量有限的临时信息存储库，是信息进入长时记忆前的必经驿站。虽然该模型首次将短时存储置于记忆系统的核心位置，但其将短时存储主要视为一个被动的“缓冲区”，未能充分解释个体在信息保持期间同时进行的认知加工操作(Baddeley, 2012)。正是对这一局限性的思考，直接催生了更具解释力的工作记忆模型。

为克服单一存储模型的不足，Baddeley 和 Hitch (1974)提出了革命性的多成分模型。该模型不再将工作记忆视为一个整体，而是由一个中央执行系统和两个附属的子系统构成。中央执行系统作为注意控制器，负责高级认知操作，如任务切换、注意分配和抑制干扰。然而，其本身并不存储信息(Baddeley, 1996)。存储功能由两个容量有限的子系统承担：语音环路负责以声音为基础的信息的存储与复述，其存在得到了“词长效应”(回忆短词比长词表现更好)等经典行为实验的支持(Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975)；视觉空间画板则负责处理视觉和空间信息，证据来自研究发现同时执行两个视觉或空间任务会产生严重干扰，而一个视觉和一个言语任务则可以并行(Logie, 1995)。

随着研究的深入，为解释工作记忆如何与长时记忆信息进行整合和绑定(例如，如何轻松理解“大象踢足球”这样的句子)，Baddeley (2000)在后修订中增加了第四个组件——情景缓冲区。这是一个容量有限的临时存储系统，受中央执行系统控制，能够将来自不同子系统和长时记忆的信息整合成一个统一的多维度情景表征。

与多成分模型的“模块化”思路不同，Cowan (1988, 1999)提出了嵌入式过程模型，提供了一个更强调注意作用的整体视角。该模型认为，工作记忆并非独立的认知结构，而是长时记忆中被激活的那部分信息，加上一个容量非常有限(约 4 ± 1 个信息块)的注意焦点。注意焦点负责对激活的记忆表征进行主动操控和保持，而外围大量的激活信息则处于一种易被提取但未被意识直接处理的状态。该模型强调注意资源分配和工作记忆容量的个体差异，得到了大量行为实验的支持。

两个模型的核心差异在于其架构：多成分模型主张由功能特异化的模块负责不同形态信息的处理，而嵌入式过程模型则主张一个统一的激活记忆池，由注意这一通用资源来管理。前者更擅长解释不同模态任务为何能并行不悖，后者则更简洁地解释了工作记忆与长时记忆的紧密联系及其容量的本质。

3. 认知模型的神经机制

随着脑成像与神经生理学技术的飞速发展，工作记忆的认知模型在大脑中找到了其生理基础。神经科学研究不仅为这些模型提供了坚实的证据，也极大地深化了我们对各组件功能的理解。

中央执行系统的神经基础主要定位于背外侧前额叶皮层。大量功能磁共振成像(fMRI)研究一致表明，DLPFC (特别是 Brodmann 9/46 区)在执行工作记忆任务时被强烈激活，尤其在信息保持、操作和监控过程中(Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005)。其核心作用在于目标信息的主动维持，即使刺激消失，DLPFC 的神经元仍会通过持续性放电来表征任务目标(Goldman-Rakic, 1995)。此外，DLPFC 还与前扣带皮层(ACC)紧密协作，形成一个关键的控制网络。ACC 负责冲突监测和误差检测，当出现反应冲突或错误时发出信号，而 DLPFC 则据此实施认知控制，进行任务切换和注意分配(Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001)。

语音环路的功能具有明显的左半球优势，并涉及一个分布式的网络。布洛卡区(左额下回后部)及其周

边区域被证实是发音复述过程的核心,其在默读和言语产生中的激活支持了这一观点(Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993)。而语音信息的存储则更多地依赖于颞顶交界处(包括缘上回和角回)和颞上回后部(听觉联合皮层)。这些区域在语音信息保持期间表现出持续的激活,损伤这些区域会导致语音存储能力的特异性下降(Buchsbaum & D'Esposito, 2008)。

与之相对,视觉空间画板的处理则表现出右半球优势。后顶叶皮层(包括顶内沟和顶上小叶)在空间位置记忆和空间注意中起关键作用(Jonides et al., 1993)。而枕颞叶皮层的视觉区域(如 V4 区)则负责客体特征(如颜色、形状)的存储,其激活强度与视觉客体的复杂度有关(Todd & Marois, 2004)。这些发现支持了视觉空间画板可能进一步分离为“空间”和“客体”子系统的观点。

作为多成分模型中最新颖的组件,情景缓冲区的神经基质最为复杂,目前认为它是一个由前额叶调控的多模态整合系统。额极皮层(Brodmann 10 区)可能参与信息的临时绑定和提取(Raye, Johnson, Mitchell, Reeder, & Greene, 2002)。后顶叶皮层(特别是角回)作为一个“跨模态枢纽”,可能提供临时的存储平台。尤为重要的是,传统上与长时记忆相关的海马结构,也被发现在需要绑定多个特征的工作记忆任务中至关重要,挑战了工作记忆与长时记忆的严格二分法(Ranganath & Blumenfeld, 2005)。

最后,Cowan 嵌入式过程模型中的注意焦点功能,与著名的额顶注意网络高度吻合。该网络由 DLPFC 和后顶叶皮层等区域组成,负责自上而下地引导和维持注意力(Corbetta & Shulman, 2002)。该网络的激活强度与工作记忆负荷密切相关,并且其内部的功能连接强度能够预测个体的工作记忆容量,这为“注意焦点”的容量有限性提供了直接的神经关联(Vogel & Machizawa, 2004)。

4. 超越模块: 神经科学带来的新视角与挑战

神经科学的进展不仅为经典认知模型提供了生物学锚点,更以其精细的时空测量手段,推动研究视角从定位静态模块转向探索动态机制。这些发现正在挑战、修正并丰富着我们对于工作记忆本质的理解。

早期对工作记忆神经机制的理解很大程度上源于对持续性放电的发现。Goldman-Rakic (1995) 的开创性研究显示,猕猴前额叶皮层中的神经元在刺激消失后的延迟期内仍能维持选择性的放电活动,这被认为是信息在脑中“在线”保持的细胞生理基础。然而,后续研究发现,这种持续性放电并非前额叶所独有,且其稳定性比预想的要弱,表明信息的维持可能依赖于更复杂的群体编码和网络机制(Stokes, 2015)。

近年来,神经振荡机制已成为理解工作记忆信息表征和操作的核心理论框架。研究表明,不同频段的脑节律协同工作以支持工作记忆。Theta 振荡(4~8 Hz)在前额叶皮层尤为显著,被认为对工作记忆提供了时序组织框架。其通过相位振幅耦合(PAC)调节后部皮层(如视觉区)Gamma 振荡(>30 Hz)的幅度,这种 Theta-Gamma 嵌套机制可能实现了多个信息项的序列化刷新和打包,是信息排序的潜在节律性机制(Lisman & Jensen, 2013)。另一方面,Alpha 振荡(8~12 Hz)的传统观点被认为是功能抑制性的。在工作记忆任务中,顶叶和枕叶 Alpha 能量的增加与抑制无关感觉输入或干扰信息密切相关,从而保护任务相关表征不受干扰(Jensen & Mazaheri, 2010)。

超越单个脑区的定位,工作记忆被重新概念化为大规模脑网络动态交互的结果。执行工作记忆任务不仅需要前额叶-顶叶网络的积极参与以提供目标导向的控制,还需要默认模式网络(DMN)的有效抑制。DMN 在静息态时活跃,在执行外部导向任务时活动降低;其抑制不足与心智游移和工作记忆表现下降相关(Anticevic et al., 2012)。因此,成功的工作记忆表现依赖于背侧注意网络(DAN, 主动引导注意)与 DMN 之间的抗相关动态平衡,以及它们与感觉皮层和其他网络的灵活交互。

最后,工作记忆的表现受到神经化学调节系统的深刻影响。多巴胺系统,特别是源于中脑腹侧被盖区并投射至前额叶皮层的通路,对 DLPFC 的功能至关重要。多巴胺 D1 受体的激活通过调节神经元信噪比来优化网络稳定性,从而影响工作记忆的容量和持久性(Cools & D'Esposito, 2011)。另一方面,作为大

脑主要的兴奋性递质，谷氨酸能信号通过 NMDA 受体介导前额叶皮层内神经元之间的突触传递和可塑性，是持续性放电和网络同步的基础。这些递质系统的失调是精神分裂症等疾病中出现工作记忆缺陷的核心病理。

5. 讨论与未来展望

本文回顾了从经典认知模型到现代神经机制的工作记忆研究历程。核心论点在于，工作记忆并非一个静态的模块化系统，而是一个涌现于大规模脑网络动态交互、由神经振荡协调、并受神经化学调节的复杂认知过程。神经科学证据既有力地支持了经典模型的合理性(如为中央执行、语音环路等功能找到了对应的神经基质)，也深刻地修正和扩展了其内涵。例如，前额叶的持续性放电和全脑的振荡活动揭示了信息保持的潜在机制，而海马在工作记忆中的角色则挑战了其与时长记忆的严格界限，支持了 Cowan 的嵌入式过程观点(D’Esposito & Postle, 2015)。最终，一个整合的框架正在浮现：Baddeley 的中央执行对应于前额叶-顶叶控制网络，语音和视觉空间从属系统分别对应于左半球和右半球的感觉皮层及联合皮层，而情景缓冲区的功能则可能由前额叶调控下的顶叶-海马网络实现(Baddeley, Allen, & Hitch, 2011)。

尽管取得了巨大进展，当前理论仍面临诸多局限与争议。首先，“存储与加工是否分离”这一基本问题仍未解决。虽然多成分模型假设了功能分离，但神经影像数据显示，前额叶既参与加工也参与存储，后部感觉皮层在存储中也表现出活动选择性的加工特征(Postle, 2015)。其次，情景缓冲区的神经关联仍然模糊，它更像一个功能概念而非一个明确的解剖实体，其整合功能可能由多个脑区组成的网络协同完成，而非一个独立的“缓冲区”。此外，工作记忆容量有限的内在机制是该领域长期争论的核心问题，目前形成了离散插槽模型(项目数量限制理论)与连续资源分配模型(表征精度限制理论)两种竞争性理论。离散插槽理论认为，工作记忆内部存在数量固定的离散存储“插槽”，人类工作记忆大约拥有 3~4 个插槽，对应 Cowan 提出的 4 ± 1 个信息块的容量上限；记忆项目只有“占据插槽”或者“丢失”两种状态。当记忆项目数目不超过插槽数量时，记忆表征精度维持稳定；一旦项目数量超出插槽上限，新增刺激无法进入工作记忆，直接发生项目完全遗忘，表征精度不会随项目增多而连续衰减(Vogel et al., 2001)。该理论与 Cowan 嵌入式过程模型的“有限注意焦点”假设高度契合，得到大量视觉工作记忆行为实验、脑电 ERP (CDA 成分)证据支持。与之对立的连续资源分配理论则主张：工作记忆不存在固定数目的离散插槽，认知资源是可以无限切分的连续流体。全部记忆项目共享有限的总体资源；记忆项目数量增加时，有限资源会被分摊到更多表征上，不会出现项目彻底丢失，而是每一个记忆项目的表征精度持续下降。个体工作记忆的限制不是项目数目的硬上限，而是表征精细程度的退化(Bays & Husain, 2008)。两种理论的争议长期停留于行为实验层面，而近年来神经振荡与大规模脑网络研究为理解容量限制提供了神经层面的解释框架。从神经振荡角度来看，Theta-Gamma 相位-振幅耦合(PAC)的 Theta 周期可以分割为多个时间子窗口，每一个 Gamma 脉冲子窗口编码一个记忆项目。离散插槽理论可以对应固定数量的 Gamma 编码窗口：Theta 振荡周期内能够容纳的 Gamma 打包窗口数量存在生理硬约束，直接限定最多能够同时表征的项目数量。而连续资源分配视角则认为，随着记忆负荷升高，Gamma 振荡的振幅会被分配稀释，每个记忆项目对应的 Gamma 同步强度下降，进而造成神经表征的精度降低，而非项目完全消失(Lisman & Jensen, 2013)。Alpha 振荡同样参与容量调控：记忆负荷提升时枕-顶区 Alpha 功率上调，通过抑制无关感觉输入保护内部表征；当负荷超出个体能力，Alpha 的抑制调控能力达到生理极限，记忆绩效发生崩塌(Jensen & Mazaheri, 2010)。从大规模动态脑网络视角分析，工作记忆容量依赖前额叶-顶叶控制网络的功能连接动态调节。离散插槽的观点倾向于认为，额-顶网络可以同时维持的表征单元存在固定生理上限，当记忆项目超过容量，网络无法建立新的稳定表征通路。资源分配理论则提出：随着记忆项目增多，额-顶网络内部神经群体的活动资源被分割分配给多个记忆表征，各个表征对应的神经集群同步性降低，表征

精度受损。同时,默认模式网络与背侧注意网络的动态抗相关平衡同样制约容量上限:高记忆负荷条件下,如果无法有效抑制默认模式网络的过度激活,会侵占额-顶网络有限的认知资源,进一步降低工作记忆绩效(Anticevic et al., 2012)。目前尚没有统一结论调和两种理论,越来越多整合性证据提示二者并非完全互斥:在项目数量较少条件下表现出近似离散插槽的特征;当刺激数量持续增加,又会出现表征精度连续衰减的资源分配模式。未来需要结合高时间分辨率脑电、颅内电生理,同时记录项目的发生概率与表征精度,进一步解析容量限制的神经基础。

尽管现有研究已经构建起工作记忆从模块化认知模型走向动态交互网络的基本图景,但仍存在诸多悬而未决的问题。未来研究应当兼顾技术革新、理论建模与临床转化,同时基于现有综述证据,提出若干可检验的科学假说,推动该领域从现象描述走向因果验证。

首先在技术层面,应当继续发挥多模态技术的互补优势。利用颅内脑电图、钙成像等高时空分辨率技术,在人类与动物模型中记录神经群体编码与神经振荡的动态变化;结合经颅磁刺激(TMS)、经颅直流电刺激(tDCS)开展因果干预,突破传统 fMRI 仅能观测相关性的局限,检验特定脑区、特定频段振荡在工作记忆存储与加工中的必要作用(Lundqvist et al., 2018)。

其次在理论建模层面,需要发展整合性计算模型,将认知模型、神经振荡节律、大规模脑网络动态纳入统一框架。既可以基于吸引子神经网络模拟持续性放电表征,也可以借助动态场理论量化记忆表征编码、维持、衰减的动力学过程,实现行为指标与神经信号的定量拟合(Edin et al., 2009)。

最后在临床转化层面,需要把基础研究成果向神经精神疾病迁移。把 Theta-Gamma 耦合、额-顶网络功能连接等指标作为潜在生物标记物,评估精神分裂症、ADHD 患者工作记忆损伤;进一步探索靶向神经振荡的脑刺激干预方案,检验认知训练联合脑调控改善工作记忆缺损的实际效果。

除上述宏观层面的研究路径之外,结合全文综述证据,我们进一步提出几条可检验的科学预测,为后续实证工作提供可参考的研究靶点。第一,工作记忆容量的双重模式假说。在低-中等记忆负荷下,工作记忆表现符合离散插槽模型,记忆项目以全或无的方式丢失,表征精度保持稳定;当负荷超过个体容量阈值后,则转向资源分配模式,出现表征精度连续衰减。可通过梯度操纵记忆负荷,同时记录行为指标与神经信号,区分项目丢失概率和表征精度的变化模式,以此对假说加以检验。第二,Theta-Gamma 耦合的功能分化假说。前额叶 Theta-Gamma 耦合负责多项目的时序编码与项目分离,顶枕区 Alpha 振荡负责抑制干扰、保护记忆表征,二者独立调控记忆项目编码数量和抗干扰能力。可通过靶向干预不同频段神经振荡,观测行为绩效的变化,区分两类振荡的特异性功能。上述预测均建立在现有综述证据之上,后续实证研究可以围绕这些假说开展验证或者证伪,推动工作记忆理论进一步迭代完善。

6. 结论

综上所述,工作记忆的研究历程清晰地展现了一条从心理模型到生物机制、从静态模块到动态网络的整合路径。证据表明,工作记忆并非孤立模块的简单拼接,而是一个依赖于大规模分布式网络灵活交互、由神经节律精细协调、并受特定神经化学物质调控的涌现性认知功能。这一新的框架不仅深化了我们对思维“工作台”如何运作的理解,也弥合了认知理论与神经科学之间的鸿沟。未来的研究需继续借助跨学科方法,围绕本文提出的系列科学预测开展实证检验,探索这一复杂系统的计算原理,并最终将理论成果转化为改善认知障碍临床实践的重要工具。

参考文献

- Anticevic, A., Cole, M. W., Murray, J. D., Corlett, P. R., Wang, X., & Krystal, J. H. (2012). The Role of Default Network Deactivation in Cognition and Disease. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 584-592.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.008>

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and Its Control Processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 89-195). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60422-3)
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49, 5-28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- 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. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47-89). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1)
- 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. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word Length and the Structure of Short-Term Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575-589. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(75)80045-4)
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic Shifts of Limited Working Memory Resources in Human Vision. *Science*, 321, 851-854. <https://doi.org/10.1126/science.1158023>
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict Monitoring and Cognitive Control. *Psychological Review*, 108, 624-652. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.624>
- Buchsbaum, B. R., & D'Esposito, M. (2008). The Search for the Phonological Store: From Loop to Convolution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 762-778. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20501>
- Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-u-Shaped Dopamine Actions on Human Working Memory and Cognitive Control. *Biological Psychiatry*, 69, e113-e125. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.03.028>
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of Goal-Directed and Stimulus-Driven Attention in the Brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Cowan, N. (1988). Evolving Conceptions of Memory Storage, Selective Attention, and Their Mutual Constraints within the Human Information-Processing System. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.2.163>
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of Working Memory. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory* (pp. 62-101). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174909.006>
- Cowan, N. (2008). Chapter 20 What Are the Differences between Long-Term, Short-Term, and Working Memory? *Progress in Brain Research*, 169, 323-338. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(07)00020-9)
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The Cognitive Neuroscience of Working Memory. *Annual Review of Psychology*, 66, 115-142. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Edin, F., Klingberg, T., Johansson, P., McNab, F., Tegnér, J., & Compte, A. (2009). Mechanism for Top-Down Control of Working Memory Capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 6802-6807. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901894106>
- Fuster, J. M. (2015). *The Prefrontal Cortex* (5th ed.). Elsevier.
- Goldman-Rakic, P. S. (1995). Cellular Basis of Working Memory. *Neuron*, 14, 477-485. [https://doi.org/10.1016/0896-6273\(95\)90304-6](https://doi.org/10.1016/0896-6273(95)90304-6)
- Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping Functional Architecture by Oscillatory α Activity: Gating by Inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, Article 186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial Working Memory in Humans as Revealed by PET. *Nature*, 363, 623-625. <https://doi.org/10.1038/363623a0>
- Lee, J., & Park, S. (2005). Working Memory Impairments in Schizophrenia: A Meta-Analysis. *Journal of Abnormal Psychology*, 114, 599-611. <https://doi.org/10.1037/0021-843x.114.4.599>
- Lisman, J. E., & Jensen, O. (2013). The Theta-Gamma Neural Code. *Neuron*, 77, 1002-1016. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.03.007>
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-Spatial Working Memory*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Lundqvist, M., Herman, P., & Miller, E. K. (2018). Working Memory: Delay Activity, Yes! Persistent Activity? Maybe Not.

- The Journal of Neuroscience*, 38, 7013-7019. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2485-17.2018>
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A Meta-Analysis of Working Memory Impairments in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 377-384. <https://doi.org/10.1097/01.chi.0000153228.72591.73>
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. Cambridge University Press.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-Back Working Memory Paradigm: A Meta-Analysis of Normative Functional Neuroimaging Studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46-59. <https://doi.org/10.1002/hbm.20131>
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The Neural Correlates of the Verbal Component of Working Memory. *Nature*, 362, 342-345. <https://doi.org/10.1038/362342a0>
- Postle, B. R. (2015). The Cognitive Neuroscience of Visual Short-Term Memory. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 1, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2014.08.004>
- Ranganath, C., & Blumenfeld, R. S. (2005). Doubts about Double Dissociations between Short- and Long-Term Memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 374-380. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.06.009>
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Reeder, J. A., & Greene, E. J. (2002). Neuroimaging a Single Thought: Dorsolateral PFC Activity Associated with Refreshing Just-Activated Information. *NeuroImage*, 15, 447-453. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0983>
- Stokes, M. G. (2015). 'Activity-Silent' Working Memory in Prefrontal Cortex: A Dynamic Coding Framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 19, 394-405. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.05.004>
- Todd, J. J., & Marois, R. (2004). Capacity Limit of Visual Short-Term Memory in Human Posterior Parietal Cortex. *Nature*, 428, 751-754. <https://doi.org/10.1038/nature02466>
- 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>
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of Features, Conjunctions, and Objects in Visual Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 92-114. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.92>