

视觉工作记忆精度表征机制及影响因素研究进展

孙天义^a, 卜燕璐^a, 侯秀丽^b

(信阳师范大学 a. 教育科学学院; b. 法学与社会学学院, 河南 信阳 464000)

摘要:精度是影响视觉工作记忆的关键因素,精度表征的神经机制对于提升工作记忆能力具有重要意义。已有的研究发现,工作记忆精度表征与整个视觉皮层和顶内沟的活动模式相关,详细的记忆特征在视觉皮层中以分布式激活模式进行编码,并中继到顶叶皮层,顶叶皮层的上侧顶内沟将注意导向有限数量的记忆表征,进而自上而下地控制视觉信息的表征进程。此外,工作记忆容量、注意力、负性情绪等因素均会影响视觉工作记忆的精度表征。今后的研究应重点关注视觉工作记忆精度表征在时间进程上的特征,以及以视觉工作记忆精度表征的影响因素为切入点的相关探索。

关键词:视觉工作记忆;精度表征;神经机制;影响因素

OSID:



中图分类号: B842.3

文献标识码: A

文章编号: 1003-0964(2024)05-0099-08

一、引言

视觉工作记忆(Visual Working Memory, VWM)是指当呈现在眼前的视觉刺激消失之后,个体仍能在较短的时间内存储和加工这些视觉信息^[1, 2]。作为人类信息加工系统的主要机制之一,视觉工作记忆为诸如语言、学习和问题解决等高级认知活动提供心理操作空间。人们通常认为视觉工作记忆是一个资源有限的认知系统,仅能暂时存储3-4个项目,以用于当前的认知加工^[3, 4]。

视觉工作记忆主要受到记忆数量和表征精度共同影响^[5, 6, 7]。其中,记忆数量是指在视觉工作记忆单位时间内的视觉表征数目,表征精度则反映了视觉工作记忆中的表征相对于原记忆刺激的精准程度^[8]。对于二者之间的关系,有多项研究表明,随着存储在视觉工作记忆中的项目数量的增加,记忆精度会单调下降^[2, 9]。换句话

说,有限的工作记忆资源在分配给存储容量和表征精度时存在权衡。针对这一问题,研究者提出了容量有限模型(又称插槽模型, Slot-Based Model)、资源灵活分配模型(Flexible Resource Model)和整合这两个模型的平均插槽模型(Slot-Averaging Model)^[10]。

插槽模型假设工作记忆资源是量化的,任何存储的项目都必须分配给有限数量的“插槽”,这些“插槽”限制了资源的分配。对于需要记忆的大量信息,个体只能对少数客体进行精确表征,而对超出容量范围的客体则几乎没有印象^[2]。资源灵活分配模型则认为个体在有限的资源中可以选择性记忆信息,实现资源的灵活分配,即在记忆项目的数量多时其精度就降低,在记忆项目的精度高时其记忆数目就减少^[6, 9]。插槽平均模型整合了上述两个模型的观点,认为记忆系统中插槽的数量是固定的,但与插槽模型不同的是,

收稿日期: 2024-05-10

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJA880082); 广东省哲学社会科学规划课题GD20CJY34); 广东省教育科学规划课题(高等教育专项)(2023GXJK134)

作者简介: 孙天义(1974—), 河南信阳人, 博士、教授, 主要研究方向: 工作记忆。

引用格式: 孙天义, 卜燕璐, 侯秀丽. 视觉工作记忆精度表征机制及影响因素研究进展[J]. 信阳师范学院学报(哲学社会科学版), 2024, 44(5): 99-106.

SUN Tianyi, BU Yanlu, HOU Xiuli. Research progress on the characterization mechanism and influencing factors of visual working memory accuracy[J]. Journal of Xinyang Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition), 2024, 44(5): 99-106.

多个插槽可以被用于表征同一个客体,每个插槽都存储着一个关于此客体的表征,个体在探测阶段会报告多个表征的平均。因此,当客体数量小于插槽数量时,表征精度会随着记忆数量的增加而降低,而超出插槽数量后的表征精度不再发生变化^[2]。

关于视觉工作记忆的容量与精度这两个维度,由于负荷水平对记忆表现影响较为明显,现有研究较多关注前者,而精度方面的研究尚处于探索阶段,尤其是其加工的神经机制以及精度表征的影响因素等问题,均有待进一步探究。基于此,有必要对视觉工作记忆精度表征的相关文献进行系统梳理和总结,为推进该领域的研究提供新思路。具体而言,本文拟首先回顾认知神经科学领域中视觉工作记忆精度表征的研究,包括功能磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)、经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)、经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)、事件相关电位(event-related potentials, ERPs)等技术的研究,并在此基础上分析工作记忆容量、注意力、负性情绪等因素对视觉工作记忆精度表征的影响。

二、视觉工作记忆精度表征的神经机制

工作记忆精度表征能力是影响工作记忆能力的因素之一,了解工作记忆精度表征的神经机制对于找寻提升工作记忆能力的训练方法具有重要意义。综合前人研究发现,与视觉工作记忆精度表征相关的脑区主要涉及视觉皮层(Visual Cortex, VC)、顶叶皮层(Parietal Cortex, PC)和枕外侧复合体(Lateral Occipital Complex, LOC)。

(一)视觉皮层

已有研究发现,视觉工作记忆中保持信息的刺激特征(诸如方向、运动方向和空间位置)可以在延迟期间从视觉皮层(例如,V1-V4、MT)中解码,尽管这些区域没有表现出增强的、持续的延迟激活^[11]。这表明视觉工作记忆表征可能在视觉皮层中以分布式激活模式编码。为了进一步探究视觉感官皮层在工作记忆保持刺激过程中的因果作用和所涉及的空间范围,Redemaker等人以fMRI结果为神经导航,应用TMS刺激枕叶纹状(初级视觉皮层V1区)这一传递视网膜信息的功能区,并要求被试记忆各个定向光栅(分别呈现在各个象限),随后计算每次试验中报告方向和真实方向之间的角度偏差,并通过拟合混合模型分析结果的误差分布以排除猜测率^[12]。结果发现,低强度的TMS刺激提高了视觉

灵敏度,从而导致记忆精度的改善(但不是猜测率),而高强度的TMS刺激则降低了视觉工作记忆的精度。研究者们对这一结果的解释是,TMS通过局部随机噪声刺激,减少了视觉皮层中被刺激位置的信息量,从而对视觉工作记忆精度产生负面影响。该研究结果明确了初级视觉皮层与视觉工作记忆精度之间的因果关系。

然而,研究者们发现视觉工作记忆精度表征并非受单一脑区的影响,而是存在功能网络自上而下地调节认知加工(广义解释)以及相关刺激特征信息的表征^[13]。例如,研究者改变视觉工作记忆任务延迟期间干扰物存在并可预测时发现,当干扰因素存在可预测时,V1-V4显示视觉工作记忆解码成功,但当干扰因素存在且不可预测时,V1-V4显示较弱的视觉工作记忆解码^[14]。该研究结果表明,干扰物存在的可预测性允许个体策略性地决定是否在视觉工作记忆表征时使用枕叶视觉皮层,是一种自上而下的认知控制。

(二)顶叶皮层

多项研究发现,顶叶皮层在视觉工作记忆延迟期间表现出持续的、增强的激活反应^[15],而延迟期激活被认为反映了任务的一般认知或注意力需求^[16, 17]。因此,这可能说明顶叶拥有注意的分配机制,能够自上而下地控制注意,并将其导向有限数量的记忆表征。其中,后顶叶皮层(Posterior Parietal Cortex, PPC)的激活被认为最有可能影响感觉表征的质量^[14, 18, 19]。例如,Wang等人应用经颅直流电刺激被试的后顶叶皮层,同时要求他们记忆并随后回忆视觉项目的方向(项目大小各不相同,分别为2、4或6项),最后通过对响应误差分布建模以测量视觉工作记忆容量和精度。为了控制刺激引起的感觉和注意力混淆,还让被试参加了感觉记忆试验。结果发现,后顶叶皮层上的tDCS刺激在最高负荷(设置大小为6)下选择性地增强了视觉工作记忆容量,而没有显著提高视觉工作记忆精度^[20]。该实验结果表明,与PPC在影响视觉工作记忆的感觉表征质量方面的作用相比,其在支持视觉工作记忆的存储容量方面可能具有相对主导和因果作用。

然而,后顶叶皮层中包含的上侧和下侧顶内沟(Intraparietal Sulcus, IPS)似乎以可分离的神经机制并行工作以支持视觉工作记忆。具体表现为,无论对象的复杂性如何,下侧IPS的激活都会受到固定数量对象的限制,而上侧IPS的激活则更多地受到对象复杂性和编码的视觉信息总量的影响,参与视觉项目的详细特征编码和保持过程。这似乎表明

上侧顶内沟的激活对视觉工作记忆精度表征敏感,而下侧顶内沟的激活与视觉工作记忆中存储内容的数目正相关^[15, 21]。

基于体素的形态学分析(voxel-based morphometry, VBM)技术能够将个体的行为能力与神经解剖学特征联系起来,作为以体素为单位的形态学测量方法,可以定量检测出脑组织的密度和体积^[22]。VBM技术可以对全脑进行测定和比较,直接对原始数据进行分析,这在一定程度上弥补了传统fMRI基于兴趣区(region of interest, ROI)测量导致主观性强的缺陷。Konstantinou 等人的一项VBM研究发现,左侧脑岛的灰质体积与个体视觉工作记忆物体识别能力正相关,而下顶叶的灰质体积与视觉空间工作记忆能力正相关,二者表现出可分离的神经解剖学相关性^[23]。同样的,Machizawa 等人利用VBM技术发现,视觉工作记忆精度表征也与顶叶的灰质体积有关^[24],具体表现为,拥有高精度表征能力的个体,其右顶叶的灰质体积往往更大,即右顶叶灰质体积与视觉工作记忆精度表征能力正相关。

(三)枕外侧复合体

有研究指出,枕叶皮层作为感知和处理视觉信息的功能区,参与许多复杂的视觉感知过程,在视觉工作记忆编码期间容易受到额外刺激的显著影响,似乎更倾向于接收视觉刺激而不是记忆表征^[14]。这一认知可能来自于以往研究将ROI限制在对视觉工作记忆负荷敏感的区域,把LOC作为枕叶皮层ROI的一部分^[11, 25],因其在编码期受到视觉工作记忆负荷的调节。但他们的分析结果中没有区分出预测视觉工作记忆精度的区域(即V1-V4, LOC)的特定性作用,因此尚不清楚LOC是否对视觉工作记忆精度表征的影响比其他视觉皮层区域更多(或更少)。全脑分析的研究发现,在视觉工作记忆的保持阶段,顶叶的激活与负荷相关,而LOC的激活对视觉工作记忆精度表征敏感,且可以通过额下联合皮层与额顶皮层的信息传递提升其敏感性^[26]。该研究并没有区分上、下侧顶内沟对精确表征的差异性影响,该原因可能是记忆项目的复杂性和数量的庞杂造成的,还有待进一步研究。此外,是否能将视觉工作记忆负荷和精度在功能或解剖学上隔离,需要更多的研究来确定。

需要指出的是,事件相关电位(ERP)具有高时间分辨率的特点,在揭示认知的时间进程方面极具优势。在视觉工作记忆数量与精度权衡的研究中,CDA可用于测量个体的视觉工作记忆容量上

限^[5, 27],但在工作记忆精度领域,该技术仅被用于解决行为数据的污染性问题。例如,CDA的振幅往往对存储的视觉信息数量敏感^[23],在工作记忆保持阶段测量这一神经特征能够监测被试是否受到干扰,若存在干扰信息,CDA会表现出上升趋势。因此,它能在一定程度上保证行为研究结果的客观性,辅助解释视觉工作记忆精度有关的实验,但没有明确的脑电成分与视觉工作记忆精度表征对应。

综上所述,视觉工作记忆精度表征与整个视觉皮层和IPS的活动模式相关,存在功能性网络。具体表现为,详细的记忆特征在视觉皮层中以分布式激活模式编码,并中继到顶叶皮层,顶叶皮层存在注意分配机制,其上侧IPS的激活将注意导向有限数量的记忆表征,进而自上而下地控制表征进程。其中,高级视觉皮层LOC可以通过额下联合皮层与额顶叶皮层建立功能连接。目前对于视觉工作记忆精度表征神经机制的探索有了一定的进展,但关注点主要集中于视觉工作记忆数量与精度的权衡加工的脑区定位上,并没有实现二者功能或解剖学上的分离。此外,对于视觉工作记忆精度表征在时间进程上的特征也知之甚少。例如,在ERP的研究中,只有CDA这一脑电成分被用来辅助解释视觉工作记忆精度相关的研究^[5, 23, 28],但CDA是否直接影响视觉工作记忆精度表征进程,或者是否有其他的ERP成分与精度表征有关,这些都需要进一步的探究。

三、视觉工作记忆精度表征的影响因素

视觉工作记忆精度表征受诸多因素的影响,如工作记忆容量、注意力和负性情绪等。在此,对视觉工作记忆精度的影响因素进行梳理,可为探索精度表征的神经机制提供新的研究视角。

(一)工作记忆容量对精度表征的影响

插槽模型认为个体拥有独特的视觉工作记忆容量,受一定数量离散内存“插槽”的限制,个体的视觉工作记忆容量平均约为3项。在该容量范围内的客体可被精确表征,对超出容量范围的客体则几乎没有印象,个体对这些客体间的精度表征也就没有明显的差异^[6]。另外,Zhang和Luck的研究也证明了当个体需要记忆的项目数量从3个增加到6个时,记忆的表征精度没有出现显著差异^[29]。但视觉工作记忆容量具有明显的个体差异,表现为低容量个体仅1至2个项目,而高容量个体达6至7个项目^[30, 31]。研究还发现,视觉工作记忆容量高的个体同时具有更好的精度表征能力。Vellage等人使用

连续延迟估计任务比较视觉工作记忆容量高、低被试的精度表征能力,并从三个维度(集合大小、线索位置、一致性)设置了任务难度。结果发现,视觉工作记忆容量高的被试在完成困难任务时,精度并没有出现明显下降^[32]。

资源灵活分配模型则认为,有限的资源可以灵活地分配给大量精度较低的项目,或者少数精度较高的项目,而不受工作记忆容量的限制^[9]。为了探究个体是否因受视觉工作记忆容量限制进而改变视觉工作记忆的表征精度,Machizawa 等人在 Zhang 和 Luck(2011)研究的基础上,使用了一种新的方向辨别范式,该范式不仅改变了记忆项目的数量,还改变了被试预计需要记忆项目的精确度。结果发现,个体能够提高视觉工作记忆的精度,但只能提高少数项目的精度^[33]。此外,刘志英和库逸轩在连续延迟估计任务中设置了低、中、高记忆负荷,并增加干扰项目,结果发现,在低记忆负荷水平上,干扰显著影响了工作记忆精度^[34]。换言之,当记忆项目数量在工作记忆容量范围内时,干扰会降低记忆中表征项目的精度。这似乎意味着工作记忆容量高的个体抗干扰能力更强,能在更大范围内抑制干扰对精度表征的影响。

插槽平均模型同样认为记忆系统中包含固定数量的插槽,即工作记忆容量。当记忆项目数量在工作记忆容量范围内时,精度会随着记忆数量的增加而降低,超出容量范围后,精度则不再发生显著变化^[33]。该模型只在记忆项目特征的表征方式方面与插槽模型持不同的观点。

(二)注意力对精度表征的影响

注意力对视觉工作记忆精度的影响是通过提升优先级、选择性增强对部分项目的注意,从而提高该项目的表征精度^[35, 36]。在视觉工作记忆中,对记忆项目的表征并不完全精确,而是存在噪音^[9, 37, 38, 39],通过选择性注意相关表征信息可以有效地减少噪音的影响^[40, 41],这种对相关表征信息的注意增强被称为回溯性注意^[42, 43]。

先前研究表明,利用回溯性注意改变记忆项目的优先级可以提高该项目的感知精度^[44]。例如,听觉领域的一项研究发现,回溯性注意的确提高了记忆中听觉项目的表征精度^[45],但该证据仅在两音节的低负荷情况下适用。Lim 等人采用心理物理建模方法,进一步增加记忆负荷,测试了听觉回溯性注意的表征精度变化是否可以概括不同认知需求的任务。结果发现,回溯性注意的确有助于精度的提升,这种促进作用与个体在不同记忆负荷中的整体工作

记忆表现有关^[44]。具体表现为,随着记忆负荷的增加,个体的整体工作记忆表现与精度的改善程度呈正相关(在高负荷条件下,工作记忆能力低的个体,精度的改善程度最小)。

与听觉回溯性注意的研究相近,视觉回溯性注意的研究也得出了类似的结论,即有效的回溯线索促进精度提高的程度取决于视觉工作记忆负荷^[46]。此外,Curtis 等人将优先级的操纵方式拓展到简单的线索提示之外,设计了两项心理物理实验操纵项目优先级,分别是测试概率和货币激励差异,同时测量参与优先级排序的多个项目的视觉工作记忆精度。结果发现,精度随着优先级的提高单调递增。这些结果预示着视觉工作记忆资源可以跨多个项目灵活分配^[47]。因此,如何分配注意力资源可能代表了一种共享机制,在该机制驱动下视觉工作记忆精度呈现出可观察到的变化。

(三)负性情绪对精度表征的影响

已有的研究显示,负性情绪能增加视觉工作记忆中细节存储的优先级,在视觉工作记忆的质量和数量上表现出调节效应^[19, 48, 49]。Spachholz 等人通过自传任务诱发被试的中性或负性情绪,随后要求被试完成一项视觉工作记忆任务(记住一组彩色点),并通过连续色轮再现其颜色,在数据分析阶段,对数据建模并计算正确检索率,以及信息的精度值。结果显示,与中性情绪状态组相比,负性情绪状态组被试的正确检索率偏低,但一旦检索颜色正确,能以更高的精度再现^[49]。Xie 和 Zhang 通过国际情感图片系统(IAPS)中的情感图片诱导被试情绪也发现,负性情绪仅对视觉工作记忆精度的表征有促进作用,但不影响记忆信息数量^[40, 29]。此外,有研究者考虑了时间间隔的影响,发现当测试项目呈现时间很短(200ms)时,诱导负性或中性情绪状态对视觉工作记忆的检索率与精度均无影响,而时间较长(500ms)时,才出现与先前研究相同的结果^[19, 50]。

然而,也有研究者得到不一致的结果。Souza 等人采用情绪图像以及情绪图像与音乐相结合两种方式诱导被试负性、中性和正性情绪结果却发现,与中性情绪相比,负性情绪和正性情绪下的精度和记忆信息数量均有所提高,但负性情绪并未表现出视觉工作记忆质量和数量上的调节效应^[51]。因此,负性情绪对视觉工作记忆精度的影响尚不明确,但情绪作为个体状态的信息,当它与任务目标无关时,常常成为一种干扰^[52, 53, 54]。从这个角度来看,探讨情绪对视觉工作记忆精度的影响是有意义的。

总之,视觉工作记忆的重要性不仅表现在日常

生活及学习任务中,而且还体现在个体的认知思维过程。上述梳理了已有研究中关于视觉工作记忆精度表征神经机制的文献,发现其关联脑区主要包括视觉皮层、顶叶皮层和 LOC。具体表现为,详细的记忆特征在视觉皮层中以分布式激活模式进行编码,并中继到顶叶皮层,顶叶皮层存在注意分配机制,其上侧 IPS 的激活将注意导向有限数量的记忆表征,进而自上而下地控制视觉皮层记忆的代表进程,而下侧 IPS 的激活对视觉工作记忆负荷表现出敏感性。上侧 IPS 和下侧 IPS 以可分离的并行加工支持视觉工作记忆。有趣的是,全脑分析的 VBM 研究也发现了顶叶与视觉工作记忆精度表征的相关性,即高精度表征能力的个体拥有更大的右顶叶灰质体积。此外,高级视觉皮层 LOC 能够在额下联合皮层与额顶叶皮层间建立功能连接,并通过二者间的信息传递提升自身对视觉工作记忆精度表征的敏感性。以往研究大多将视觉工作记忆负荷敏感作为记忆精度敏感的先决条件,将范围限制在视觉工作记忆负荷敏感的区域。未来研究应致力于二者的分离,关注视觉工作记忆精度表征加工进程的特异性特征。虽已有全脑分析的研究证实 LOC 对视觉工作记忆精度表征特异性敏感,但是否能将视觉工作记忆负荷和精度在功能或解剖学上隔离,还需要更多的研究来确定。

四、不足与展望

总体而言,视觉工作记忆精度表征的神经机制研究有了一定的进展,但目前的研究大多集中于加工的脑区等空间定位上,对于视觉工作记忆精度表征在时间进程上的变化特征知之甚少,ERP 这一高时间分辨率的技术暂未发挥其应有的效用,而视觉工作记忆的影响因素,如情绪,现有研究中已有明确的特定成分与其相关^[55, 56],未来的研究除了要在技术使用方面不断尝试,还可将工作记忆容量、注意力、负性情绪等影响因素作为新的起点,对视觉工作记忆精度表征的神经机制进行更深入的探究。

第一,目前在工作记忆容量与精度的影响研究中,使用的多是 Zhang 和 Luck 提出的两成分混合模型来实现工作记忆精度和容量指标的分离^[2, 57],但有研究者怀疑该指标的有效性^[58]。因此,基于猜测率和标准差提出了一个新的指标来量化个体在工作记忆数量和精度方面的权衡能力^[59],即一般自发权衡指标(general voluntary trade-off index, GT)。该指标的计算过程能够最小化被试的个体差异,表现在高精度条件下指标相较于低精度条件下的变化

程度,以此来反映被试因任务要求进行自发权衡的程度。但其并不能同时兼顾数量和精度的变化,未来的研究应进一步改善该指标以探讨个体权衡能力,或基于注意分配对工作记忆精度表征的影响,以此探讨个体权衡能力与注意过滤能力之间的关系。此外,已有的研究集中于视觉工作记忆容量的高低对精度的影响,但客体复杂度或精度需求能否改变视觉工作记忆容量的研究还很少。尽管有研究表明,视觉工作记忆的容量是随着客体复杂程度的增加而降低,但 Awh 等人认为这种降低是由于记忆刺激和探测刺激间的相似性增加,且个体记忆表征的精度有限,所以报告时会出现较多的错误,表现为容量降低,但事实上所存储的项目数量并未减少^[60]。因此,复杂度增加导致容量下降这一假设还需要更多的证据来加以检验。

第二,在注意力影响因素方面,Zhang 和 Luck 通过金钱激励的方式改变项目的优先级的方法,未能找到证据表明优先级会影响视觉工作记忆的精度^[30],但 Curtis 等人采用两项心理物理学实验(测试概率和货币激励差异)操纵项目优先级则观察到了精度的变化。换句话说,对注意优先级的不同操纵方式导致了结果的差异^[47]。因此,未来的研究应致力于注意力优先级操纵方法的有效性评估,或者就操纵注意力优先级的不同方式进行探讨,并结合其神经机制的研究,以探明个体注意力在视觉工作记忆精度表征进程中的作用。

第三,负性情绪对视觉工作记忆精度的影响尚存在争议。究其原因,大致可以分为以下几个方面。首先,目前采用的情绪评价方式过于简单,而情绪是多元化的,如负性情绪包括恐惧,厌恶,悲伤等多种样式,它们对视觉工作记忆精度表征的影响或许不尽相同。未来的研究可以考虑不同概念化情绪的影响以丰富现有研究。其次,情绪操纵时间非常短暂,很难对被试产生持续的影响,因而无法保证操纵的有效性,这对于实验结果的评定与观察都是无益的。未来研究应采用有效性更强的情绪操纵来提升结果的可观察性,如观看视频。此外,最近一项关于情绪在视觉工作记忆中的作用的 Meta 分析结果发现,情绪信息持续激活与处理视觉工作记忆信息相关的大脑区域,但产生的行为影响却很小,这似乎源于个体对负性情绪的有效控制,且这种控制效应在有心理健康问题的人群中大大降低^[61]。未来研究可以利用 ERPs 技术考察这一控制效应在时间进程上的作用机制,以便进一步明晰工作记忆精度表征的神经机制。

参考文献:

- [1] ZHANG L, YAMADA Y. Alternating capture of attention by multiple visual working memory representations[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):130-29.
- [2] ZHANG W, LUCK S J. Discretefixed-resolution representations in visual working memory[J]. *Nature*, 2008, 453:233-235.
- [3] PRIETO A, PEINADO V, MAYAS J. Does perceptual grouping improve visuospatial working memory? Optimized processing or encoding bias[J]. *Psychol Res*, 2022, 86(4):1297-1309.
- [4] LEONARD C J, KAISER S T, ROBINSON B M, et al. Toward the neural mechanisms of reduced working memory capacity in schizophrenia[J]. *Cereb Cortex*, 2013, 23(7):1582-1592.
- [5] VOGEL E K, MACHIZAWA M G. Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity[J]. *Nature*, 2004, 428(6984):748-751.
- [6] LUCK S J, VOGEL E K. The capacity of visual working memory for features and conjunctions[J]. *Nature*, 1997, 390(6657):279-281.
- [7] 张照, 张力为, 龚然. 视觉工作记忆的过滤效能[J]. *心理科学进展*, 2021, 29(4):635-651.
- [8] FUKUDA K, AWH E, VOGEL E K. Discrete capacity limits in visual working memory[J]. *Current Opinion in Neurobiology*, 2010, 20(2):177-182.
- [9] BAYS P M, HUSAIN M. Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision[J]. *Science (New York, N. Y.)*, 2008, 321(5890):851-854.
- [10] 何旭, 郭春彦. 视觉工作记忆的容量与资源分配[J]. *心理科学进展*, 2013, 21(10):1741-1748.
- [11] EMRICH S M, RIGGALL A C, LAROCQUE J J, et al. Distributed patterns of activity in sensory cortex reflect the precision of multiple items maintained in visual short-term memory[J]. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 2013, 33(15):6516-6523.
- [12] RADEMAKER R L, VAN DE VEN V G, TONG F, et al. The impact of early visual cortex transcranial magnetic stimulation on visual working memory precision and guess rate[J]. *PLoS ONE*, 2017, 12(4): e175230.
- [13] 张豹, 胡岑楼, 陈颜璋, 等. 工作记忆与知觉负载对工作记忆表征引导注意的调节[J]. *心理学报*, 2017, 49(8):1009-1021.
- [14] BETTENCOURT K C, XU Y. Decoding the content of visual short-term memory under distraction in occipital and parietal areas[J]. *Nature Neuroscience*, 2016, 19(1):150-157.
- [15] ANDERSON D E, VOGEL E K, AWH E. Precision in visual working memory reaches a stable plateau when individual item limits are exceeded[J]. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 2011, 31(3):1128-1138.
- [16] LI X, O'SULLIVAN M J, MATTINGLEY J B. Delay activity during visual working memory: A meta-analysis of 30 fMRI experiments[J]. *Neuroimage*, 2022, 255:119204.
- [17] MITCHELL D J, CUSACK R. Flexible, capacity-limited activity of posterior parietal cortex in perceptual as well as visual short-term memory tasks[Z]. 2008(18):1788-1798.
- [18] ZHAO, DI, ZHOU, et al. The causal role of the prefrontal cortex and somatosensory cortex in tactile working memory[J]. *Cerebral Cortex*, 2018, 28(10):3468-3477.
- [19] SPRAGUE T C, ESTER E F, SERENCES J T. Reconstructions of information in visual spatial working memory degrade with memory load[J]. *Current Biology : CB*, 2014, 24(18):2174-2180.
- [20] WANG S, ITTHIPURIPAT S, KU Y. Electrical stimulation over human posterior parietal cortex selectively enhances the capacity of visual short-term memory[J]. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 2019, 39(3):528-536.
- [21] XU Y, CHUN M M. Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects[J]. *Nature*, 2006, 440(7080):91-95.
- [22] KAMASAK B, ULCA Y T, NISARI M, et al. Effects of COVID-19 on brain and cerebellum: A voxel based morphometrical analysis[J]. *Bratisl Lek Listy*, 2023, 124(6):442-448.
- [23] KONSTANTINOOU N, KONSTANTINIDOU F, KANAI R. Discrete capacity limits and neuroanatomical correlates of visual short term memory for objects and spatial locations[J]. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38:767-778.
- [24] MACHIZAWA M G, DRIVER J, WATANABE T. Gray matter volume in different cortical structures dissociably relates to individual differences in capacity and precision of visual working memory[J]. *Cerebral Cortex (New York, N. Y. : 1991)*, 2020, 30(9): 4759-4770.
- [25] GOSSERIES O, YU Q, LAROCQUE J J, et al. Parietal-occipital interactions underlying control and representation-related processes in working memory for nonspatial visual features[J]. *The Journal of Neu-*

- rosience : The Official Journal of the Society for Neuroscience, 2018, 38(18):4357-4366.
- [26] ZHAO Y, KUAI S, ZANTO T P, et al. Neural correlates underlying the precision of visual working memory[J]. Neuroscience, 2020, 425:301-311.
- [27] HAO R, BECKER M W, YE C, et al. The bandwidth of VWM consolidation varies with the stimulus feature: Evidence from event-related potentials[J]. J Exp Psychol Hum Percept Perform, 2018, 44(5):767-777.
- [28] ROY Y, FAUBERT J. Is the contralateral delay activity (CDA) a robust neural correlate for visual working memory (VWM) tasks? A reproducibility study[J]. Psychophysiology, 2023, 60(2):e14180.
- [29] ZHANG W, LUCK S J. The number and quality of representations in working memory[Z]. 2011(22):1434-1441.
- [30] 王丽雪, 吕匡迪, 张倩, 等. 不同空间构型下邻近性对视觉工作记忆中相似性效应的影响[J]. 心理科学, 2021, 44(2):258-265.
- [31] YE C, XU Q, LIU Q, et al. The impact of visual working memory capacity on the filtering efficiency of emotional face distractors[J]. Biological Psychology, 2018, 138:63-72.
- [32] VELLAGE A, MULLER P, SCHMICKER M, et al. High working memory capacity at the cost of precision[J]. Brain Sciences, 2019, 9(9):210.
- [33] MACHIZAWA M G, GOH C C W, DRIVER J. Human visual short-term memory precision can be varied at will when the number of retained items is low[J]. Psychological Science, 2012, 23(6):554-559.
- [34] 刘志英, 库逸轩. 知觉表征精度对工作记忆中抑制干扰能力的影响[J]. 心理学报, 2017, 49(10):1247-1255.
- [35] 宋佳汝, 刘媛媛, 王秀礼, 等. 视觉与言语工作记忆表征对视觉注意的引导[J]. 心理发展与教育, 2022, 38(5):609-617.
- [36] 车晓玮, 徐慧云, 王凯旋, 等. 工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响[J]. 心理学报, 2021, 53(7):694-713.
- [37] BAYS P M. Spikes not slots; Noise in neural populations limits working memory[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2015, 19(8):431-438.
- [38] MA W J, HUSAIN M, BAYS P M. Changing concepts of working memory. [J]. Nature Neuroscience, 2014, 17(3):347-356.
- [39] 车晓玮, 王凯旋, 上官梦麒, 等. 视觉工作记忆中注意模板的表征:来自 EROS 的证据[J]. 心理与行为研究, 2020, 18(3):297-303.
- [40] XIE K, JIN Z, NI X, et al. Distinct neural substrates underlying target facilitation and distractor suppression: A combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity study[J]. NeuroImage, 2020, 221:117149.
- [41] GETZMANN S, SCHNEIDER D, WASCHER E. The role of inhibition for working memory processes: ERP evidence from a short - term storage task [J]. Psychophysiology, 2018, 55(5):e13026.
- [42] BAYS P M, TAYLOR R. A neural model of retrospective attention in visual working memory [J]. Cognitive Psychology, 2018, 100:43-52.
- [43] 叶超雄, 胡中华, 梁腾飞, 等. 视觉工作记忆回溯线索效应的产生机制:认知阶段分离[J]. 心理学报, 2020, 52(4):399-413.
- [44] LIM S, WOSTMANN M, GEWEKE F, et al. The benefit of attention-to-memory depends on the interplay of memory capacity and memory load[J]. Frontiers in Psychology, 2018, 9:184.
- [45] LIM S, WOSTMANN M, OBLESER J. Selective attention to auditory memory neurally enhances perceptual precision[J]. The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 2015, 35(49):16094-16104.
- [46] ASTLE D E, SUMMERFIELD J, GRIFFIN I, et al. Orienting attention to locations in mental representations[J]. Attention, Perception & Psychophysics, 2012, 74(1):146-162.
- [47] CURTIS, CLAYTON E, RAHMATI, et al. Attentional priority determines working memory precision [J]. Vision Research: An International Journal in Visual Science, 2014, 105:70-76.
- [48] XIE W, ZHANG W. Negative emotion boosts quality of visual working memory representation[J]. Emotion (Washington, D. C.), 2016, 16(5):760-774.
- [49] SPACHTHOLZ P, KUHBANDNER C, PEKRUN R. Negative affect improves the quality of memories: Trading capacity for precision in sensory and working memory[J]. J Exp Psychol Gen, 2014, 143(4):1450-1456.
- [50] LONG F, YE C, LI Z, et al. Negative emotional state modulates visual working memory in the late consolidation phase [J]. Cognition & Emotion, 2020, 34(8):1646-1663.
- [51] SOUZA A S, THALER T, LIESEFELD H R, et al. No evidence that self-rated negative emotion boosts visual working memory precision[J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Per-

- formance, 2021, 47(2):282-307.
- [52] LIESEFELD H R, LIESEFELD A M, SAUSENG P, et al. How visual working memory handles distraction: Cognitive mechanisms and electrophysiological correlates[J]. *Visual Cognition*, 2020.
- [53] 黄月胜, 张豹, 范兴华, 等. 无关工作记忆表征的负性情绪信息能否捕获视觉注意? 一项眼动研究[J]. *心理学报*, 2021, 53(1):26-37.
- [54] 张禹, 李红, 赵守盈, 等. 任务无关情绪刺激对工作记忆信息更新的影响: 来自 ERP 的证据[J]. *心理科学*, 2016, 39(1):2-7.
- [55] 孙博, 曾宪卿, 许恺煜, 等. 情绪面孔的意识神经相关物及其无意识自动加工: 来自事件相关电位的证据[J]. *心理学报*, 2022, 54(8):867-880.
- [56] 郑琰, 陈伟, 王洪叶. 内隐重评对情绪调节影响的 ERP 研究[J]. *心理科学*, 2022, 45(2):268-276.
- [57] 何广浩, 刘昕旸, 郭利静, 等. 视觉工作记忆中数量和精度的权衡关系是否受个体自发自控制[J]. *心理学进展*, 2021, 11(10):9.
- [58] MA W J. Problematic usage of the zhang and luck mixture model[J]. *BioRxiv*, 2018:1.
- [59] YE C, SUN H J, XU Q, et al. Working memory capacity affects trade-off between quality and quantity only when stimulus exposure duration is sufficient: Evidence for the two-phase model[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1):8727.
- [60] AWH E, BARTON B, VOGEL E K. Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity[J]. *Psychological Science*, 2007, 18(7):622-628.
- [61] SCHWEIZER S, SATPUTE A B, ATZIL S, et al. The impact of affective information on working memory: A pair of meta-analytic reviews of behavioral and neuroimaging evidence[J]. *Psychological Bulletin*, 2019, 145:566-609.

Research on the Characterization Mechanism and Influencing Factors of Visual Working Memory Precision

SUN Tianyi^a, BU Yanlu^a, HOU Xiuli^b

(a. School of Educational Science; b. School of Law and Sociology, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan)

Abstract: Precision is a key factor affecting visual working memory, and the neural mechanism of precision representation is of great significance for improving working memory ability. Previous studies have found that the precision of working memory representation is related to the activity patterns of the entire visual cortex and the parietal sulcus. Detailed memory features are encoded in a distributed activation pattern in the visual cortex and relayed to the parietal cortex. The upper parietal sulcus of the parietal cortex directs attention towards a limited number of memory representations, thereby controlling the representation process of visual information from top to bottom. In addition, factors such as working memory capacity, attention, and negative emotions can all affect the precision of visual working memory representation. Future research should explore the temporal characteristics of visual working memory precision representation and delve deeper into the influencing factors of visual working memory precision representation.

Keywords: visual working memory; precision representation; neural mechanism; influencing factor

(责任编辑:金云波)