

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：价值导向的注意刷新及其机制

作者：李海峰，林世卿，万博温

第一轮

审稿人 1 意见：

已有研究发现，作者通过三个实验，利用点探测任务和空白屏范式探讨了工作记忆价值效应的机制。实验 1 和实验 2 利用点探测任务探查工作记忆项目维持期间的注意分配情况，结果发现，不管项目是同时呈现还是继时呈现，对高价值项目所在位置上的探针反应比对低价值对应位置上的探针反应更快。实验 3 利用眼动技术结合空白屏范式，探查工作记忆项目维持期间的眼跳模式，结果发现，高价值项目位置上的注视频率显著高于低价值项目对应位置的注视频率，但平均注视时间无明显差异。作者认为工作记忆的价值效应很可能是通过增加对高价值信息的注意刷新实现。总体来说，研究有一定创新性，研究设计合理、数据分析方法正确，结果可靠，结论可信，论文写作语言流畅，逻辑清晰，但也存在一些疑问，具体问题如下：

意见 1：因为研究中缺少无价值项目的中性条件，所以实验 1 中被试对高价值项目位置上探针反应比对低价值位置上探针反应更快，也可能是因为被试对低价值项目的位置进行了抑制。实验 2 的反应时结果、实验 3 的眼动结果也都可能有类似的原因。

回应：感谢审稿专家的意见。我们对此问题的回答主要从以下两个方面入手。

(1) 关于“缺少无价值项目的中性条件”的问题。以往涉及价值导向的研究（不论是价值导向的记忆、价值导向的注意，还是价值导向元记忆），均不会设置无价值项目的条件（e.g., Allen & Ueno, 2018; Atkinson et al., 2019; Atkinson et al., 2022; Hitch et al., 2018; Hu et al., 2016; Stefanidi et al., 2018; 严燕 等, 2013）。在这些研究中，为了操纵价值，被试会被告知在回忆阶段尽量取得最高的分数。这就要求每一个项目对总分数都要有贡献。而如果一个项目是无价值的，被试不会因为记忆该项目获得任何分数，他们就根本不会去记忆这个项目，因而这个条件是无效的。因此，通常情况下，研究会设置高、低价值组，或者高、中、低价值组。而所谓的价值导向，也即是指高价值项目相对于中或低价值项目在哪些方面存在优势，如记忆得更好，或得到优先刷新等等。

(2) 关于“被试可能对低价值项目的位置进行了抑制”的问题。首先，在注意抑制相关的研究中，被试抑制的项目一般并不是实验的目标，而是分心刺激（e.g., Chelazzi et al., 2019; Gaspelin et al., 2015; Jannati et al., 2013）。分心刺激会吸引人的注意，从而导致更长的反应时。但是在本研究的三个实验中，所有的项目都是被试尽力去记忆的目标，因为它们能够提高被试获得的分数。因此，被试不会对低价值的项目进行抑制。被试不仅会刷新高价值项目，而且也会刷新低价值项目。只不过在注意刷新过程中，他们优先刷新了高价值项目，因为高价值的项目对分数的贡献最大。其次，在这三个实验中，高价值项目仅有 1 个，而低价值项目有多个（5 个或 3 个）。如果被试真的要去抑制低价值项目所在的位置，这就意味着他们要同时抑制多个位置。这是一种相对认知不经济的心理过程。

Allen, R. J., & Ueno, T. (2018). Multiple high-reward items can be prioritized in working memory but with greater

- vulnerability to interference. *Attention, Perception & Psychophysics*, 80(7), 1731–1743. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1543-6>
- Atkinson, A. L., Oberauer, K., Allen, R. J., & Souza, A. S. (2022). Why does the probe value effect emerge in working memory? Examining the biased attentional refreshing account. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(3), 891–900. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02056-6>
- Atkinson, A. L., Waterman, A. H., & Allen, R. J. (2019). Can children prioritize more valuable information in working memory? An exploration into the effects of motivation and memory load. *Developmental Psychology*, 55(5), 967–980. <https://doi.org/10.1037/dev0000692>
- Chelazzi, L., Marini, F., Pascucci, D., & Turatto, M. (2019). Getting rid of visual distractors: The why, when, how, and where. *Current Opinion in Psychology*, 29, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2019.02.004>
- Gaspelin, N., Leonard, C. J., & Luck, S. J. (2015). Direct evidence for active suppression of salient-but-irrelevant sensory inputs. *Psychological Science*, 26(11), 1740–1750. <https://doi.org/10.1177/0956797615597913>
- Hitch, G. J., Hu, Y., Allen, R. J., & Baddeley, A. D. (2018). Competition for the focus of attention in visual working memory: Perceptual recency versus executive control. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 64–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.13631>
- Hu, Y., Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2016). Executive control of stimulus-driven and goal-directed attention in visual working memory. *Attention, Perception & Psychophysics*, 78(7), 2164–2175. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1106-7>
- Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking target and distractor processing in fixed-feature visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(6), 1713–1730. <https://doi.org/10.1037/a0032251>
- Stefanidi, A., Ellis, D. M., & Brewer, G. A. (2018). Free recall dynamics in value-directed remembering. *Journal of Memory and Language*, 100, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2017.11.004>
- 严燕, 姜英杰, 杨玲. (2013). 价值导向元记忆中价值顺序效应初探. *心理学报*, 45(10), 1094–1103. DOI: 10.3724/SP.J.1041.2013.01094

意见 2: 虽然作者在实验 2 中采用继时呈现项目的方式, 确保每个项目的呈现时间相同, 但这并不能排除被试对高价值的项目采取精细化编码的策略。

回应: 感谢审稿专家提出的意见。我们查阅了一些精细编码 (elaborative encoding) 相关的文献, 发现以往要求被试采用精细编码的研究, 通常会用指导语引导被试进行精细编码, 并且被试可用于编码的时间比较久 (e.g., Coane, 2013; Hawco et al., 2013; Karpicke & Smith, 2012)。例如, Coane (2013) 以词对为实验材料, 告知被试在精细编码的学习条件下, 要么努力寻找词对之间的相似性或共同点, 要么在脑海中创造一个能结合这两个单词的心理图像。在这两种情况下, 每个词对均呈现 5 秒。Karpicke 和 Smith (2012) 则采用了一种基于意象的精细学习方法, 即关键词法 (Atkinson, 1975; McDaniel & Pressley, 1984)。首先, 被试从一个新的英语单词中提取出一个熟悉的单词 (例如, *antiar* 可以提取出 *ant*)。这个被提取出的单词就被称为关键词。然后, 被试需要在关键词和单词的定义之间形成一个有意义的心理图像 (例如, *antiar* 意味着毒药, 所以被试可能会想象一只蚂蚁在喝毒药)。通过关键词法, 被试可以针对单词及其含义进行丰富的创造。在实验过程中, 每个单词呈现 7 秒。此外, 我们没有搜索到在短时间内 (如 2 秒内)、被试能够自发进行精细编码的研究。

在实验二中, 被试可用于记忆任意一个项目 (字母+数字组合) 的时间为 1 秒。基于上述精细编码相关的研究, 我们认为被试在这么短的时间内、自发地对高价值项目采取精细编码的策略的可能性是非常低的。

- Atkinson, R. C. (1975). Mnemotechnics in second-language learning. *American Psychologist*, 30(8), 821–828. <https://doi.org/10.1037/h0077029>
- Coane, J.H. (2013). Retrieval practice and elaborative encoding benefit memory in younger and older adults. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2013.04.001>
- Hawco, C., Armony, J. L., & Lepage, M. (2013). Neural activity related to self-initiating elaborative semantic encoding in associative memory. *NeuroImage*, 67, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.004>
- Karpicke, J. D., & Smith, M. A. (2012). Separate mnemonic effects of retrieval practice and elaborative encoding. *Journal of Memory and Language*, 67(1), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.02.004>
- McDaniel, M. A., & Pressley, M. (1984). Putting the keyword method in context. *Journal of Educational Psychology*, 76(4), 598–609. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.76.4.598>

意见 3: 实验三中可选的记忆图形数目相对较少, 只有 5 个, 而且图形也非常简单, 这是否会对实验结果有所影响呢?

回应: 感谢审稿专家的意见。实验三中图形的数量选择是基于我们的探索实验确定的。具体情况如下:

在实施实验三之前, 我们进行了预实验。在预实验中, 被试需要记忆 5 个简单的图形。这 5 个图形是从 6 个图形中随机选择的。回忆测试要求被试从 6 个图形中挑选出探针指向的图形。预实验的结果发现, 记忆 5 个简单图形的条件, 被试的整体再认正确率较低 (6 名被试, 再认正确率在 50% 左右)。正确率过低会导致高、低价值条件下可用于眼动的试次数过少。因此, 我们最后采用了目前这种实验的做法。

当然, 如果正确率比较低, 也可以通过增加试次数的方法来增加可用于分析的眼动数据, 只不过这种方式会增加被试的疲劳。此外, 实验的正确率也不能太高, 出现天花板效应。这是因为价值导向的注意刷新的前提是存在价值导向的记忆。如果正确率非常高, 说明被试几乎能够记住所有的项目。在这种情况下, 价值的引导就失效了。

意见 4: 在实验三中, 尽管作者发现了高低价值项目所在兴趣区对应的注视次数出现了显著差异, 但空白屏的呈现时间是 3000 ms, 每个项目所在兴趣区内注视点的次数确实太少了, 很可能出现了低限效应, 这会使得该结果的可靠性有所降低。

回应: 感谢审稿专家的意见。

首先, 实验三记录的每个项目所在兴趣区内注视点的次数较少, 主要基于下述 (1) 和 (2) 的原因。

(1) 尽管空白屏范式可以直观地测量注意刷新的频率和轨迹, 但不能保证被试的注视点能够理想地落在研究者关心的兴趣区内。这也是该范式的一个缺陷。空白屏范式的基本原理是, 被试在记忆的编码阶段构建了视觉场景的心理表征, 该表征中与任务相关的项目可以在缺乏视觉场景的情况下仍然得到关注。于是, 焦点注意能够反映在注视的位置上: 被试注视屏幕上先前已经被任务相关项目所标记的位置区域 (Hoover & Richardson, 2008; Spivey & Geng, 2001; Theeuwes et al., 2009)。以往研究表明, 当刺激消失后, 关注项目所在的区域能够提升该项目的工作记忆绩效 (Kuo et al., 2012; Martarelli et al., 2017; Vankov, 2009)。在空白屏上测得的眼动与注意转移到相关的记忆项目有关 (Scholz et al., 2016)。因此, 注意刷新会使个体的注意指向项目所在的位置区域, 从而引发眼球在空白屏幕中向对应的空间位置移动。(注, 由于另外一位审稿专家的意见, 本部分关于空白屏范式的原理的表述已经在原文的“前言”进行了相应的修改)

然而,上述论述只是空白屏范式的理想状态,并不能保证被试的注视点都落在项目所对应的位置内。这是因为在空白屏中,被试的注视点不仅会分配给每一个项目,而且会落在项目所在的兴趣区之外。并且由于存在多个项目,被试可能会在空白屏期间内进行多次扫视(saccade),使得其注视点不停地在多个项目的位置上切换,从而导致落在项目对应位置的注视点变少。

此外,研究还表明,有些时候即使眼球没有运动,隐蔽的注意转移同样可以提高记忆提取的绩效(Scholz et al., 2018)。这意味着,注意刷新可能发生在一些没有被眼动轨迹所记录的隐蔽的注意转移过程中。因此,眼动轨迹并不能完全描述注意刷新的全部过程,只能说能够部分描述注意刷新的过程。

(2) 实验三中,虽然空白屏的呈现时间是 3000 ms,但实际上真正停留在各项目所对应兴趣区的时间可能并没有太长。比如以往研究表明,对一个指定视觉刺激的单次扫视的时间大约在 200 ms (Duchowski, 2007; Fischer & Ramsperger, 1984)。在实验三中,由于存在 4 个图形,被试花费在扫视上的时间至少是 800 ms,而此时间还只是假设被试仅仅对每个项目进行了一次扫视(实际上可能会更多)。再加上被试的注视点可能处于兴趣区之外,以及隐蔽的注意转移等原因,被试真正用于停留在兴趣区内的时间并没有太长,因而注视次数也较少。

综上所述,使用空白屏范式来研究注意刷新的问题,可能不可避免地会导致记录的注视点个数要少于我们通常所使用的那些实验范式。

其次,结合注意刷新时间的结果,我们认为实验三的研究结果仍然是相对可靠的。尽管实验三得到的注视点次数较少,但本实验发现被试在持续 3 秒的空白屏期间平均对每个项目的刷新时间为 320 ms (也就是说,4 个项目大约为 1300 ms)。以往研究发现,个体能够在 500 ms 内完成对单个项目的刷新(Yi et al., 2008; Souza et al., 2018)。这些研究得出的 500 ms 并不是单个项目的确切刷新时间,而是在这两个研究中,实验操纵被试可用于刷新单个项目的时间为 500 ms。换言之,被试真正刷新单个项目的时间应该要少于 500 ms。由于至今并没有实证研究表明,对单个项目进行注意刷新的具体时间是多久,我们无法判断 320 ms 左右的刷新时间是高效还是低效。我们只能判断,实验三得到的刷新时间是合理的,处在以往研究操纵可用于刷新的时间范围内。这一结果从侧面说明,在某种程度上,这一较低的注视点个数可能也是合理的。

最后,由于本文也是首次将空白屏范式应用于价值导向的注意刷新的研究,本实验确实还有值得改进的地方。根据上面的分析,我们认为,之所以在实验三中注视点较少,主要可能跟兴趣区不够大和空白屏持续时间不够长有关。因此,针对本实验,未来的研究可以从下面几个方面加以改进并验证。第一,在保证正确率在合理范围(约 60-80%)的前提下,增加图形的复杂度。正确率设置在合理范围是为了确保价值引导是有效的。增加图形的复杂度是为延长空白屏的时间做准备;第二,增加图形刺激的视角大小,以扩大兴趣区的视角大小;第三,延长空白屏的时间。关于这部分的表述,我们已经在“不足”中进行了相应的补充。

Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (2nd ed.). Springer.

Fischer, B., & Ramsperger, E. (1984). Human express saccades: Extremely short reaction times of goal directed eye movements. *Experimental Brain Research*, 57(1). <https://doi.org/10.1007/BF00231145>.

Hoover, M. A., & Richardson, D. C. (2008). When facts go down the rabbit hole: Contrasting features and objecthood as indexes to memory. *Cognition*, 108(2), 533-542. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.02.011>.

Kuo, B. C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 51-60. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00087.

- Martarelli, C. S., Chiquet, S., Laeng, B., & Mast, F. W. (2017). Using space to represent categories: Insights from gaze position. *Psychological Research*, 81(4), 721–729. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0781-2>.
- Scholz, A., Klichowicz, A., & Krems, J. F. (2018). Covert shifts of attention can account for the functional role of "eye movements to nothing". *Memory & Cognition*, 46(2), 230–243. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0760-x>
- Scholz, A., Mehlhorn, K., & Krems, J. F. (2016). Listen up, eye movements play a role in verbal memory retrieval. *Psychological Research*, 80(1), 149–158. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0639-4>.
- Souza, A. S., Vergauwe, E., & Oberauer, K. (2018). Where to attend next: Guiding refreshing of visual, spatial, and verbal representations in working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 76–90. <https://doi.org/10.1111/nyas.13621>.
- Spivey, M. J., & Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, 65(4), 235–241. <https://doi.org/10.1007/s004260100059>.
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132(2), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.01.005>.
- Vankov, I. (2009). Mind the gap: The cost of looking at nothing, or the performance implications of memory-induced attention shifts. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 31(31), 7.
- Yi, D. J., Turk-Browne, N. B., Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2008). When a thought equals a look: Refreshing enhances perceptual memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1371–1380. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20094>.

意见 5: 作者做了预先备案, 并提供了登记号, 但评审人看不到备案文档。一般来说, 预先备案至少应该对评审人公开。

回应: 感谢审稿专家的提醒。我们已经将该备案文件上传到系统中, 文件名为 AsPredicted 107605.pdf。

意见 6: 自检报告中也要求数据报告的完备性, 但作者在三个实验的结果报告中提供的相关信息并不多, 没有报告剔除了多少试次, 若包含相应的数据, 统计结果是否有变化等。

回应: 感谢审稿专家的意见。为了确保数据准确无误, 我们重新分析了数据。个别数值与之前版本略有变化, 这可能是因为剔除的试次有变化。我们已经在每个实验的结果部分报告了剔除的试次占总试次的百分比。若包含这些试次, 统计结果与现在报告的结果基本一致。

实验一中, 点探测任务错误的试次为总试次的 5.38%, 点探测反应时在三个标准差以外的试次占总试次的 0.58%。如果包含这些数据, 对现在报告的结果无明显影响。被试在高价值 (773 ms ± 99 ms) 项目对应位置的点探测反应时显著快于低价值 (796 ms ± 114 ms) 项目对应位置的点探测反应时, $t(23) = -2.939$, $p = 0.004$, Cohen's $d = -0.600$ 。

实验二中, 点探测任务错误的试次为总试次的 2.29%, 点探测反应时在三个标准差以外的试次占总试次的 0.52%。如果包含这些数据, 对现在报告的结果无明显影响。被试在高价值 (739 ms ± 106 ms) 项目对应位置的点探测反应时显著快于低价值 (759 ms ± 122 ms) 项目对应位置的点探测反应时, $t(22) = -2.064$, $p = 0.025$, Cohen's $d = -0.430$ 。

实验三中, 排除了注视时间小于 100 ms 的试次, 占总试次的 5.47%。如果包含这些数据, 对现在报告的结果无明显影响。高价值 (0.36 ± 0.09 次/试次) 项目对应位置在空白屏期间的注视次数显著高于低价值 (0.32 ± 0.09 次/试次) 项目对应位置的注视次数, $t(23) = 2.696$, $p = 0.006$, Cohen's $d = 0.550$; 高 (282 ms ± 100 ms)、低价值 (303 ms ± 136 ms) 项目对应位置在空白屏期间的单次注视时间无显著差异, $t(23) = -1.172$, $p = 0.253$, Cohen's d

= -0.239。

意见 7: 论文写作规范性方面还有可以改进的空间, 比如 t 检验应提供自由度, 报告刺激大小时尽可能报告视角而不是像素, 等等。

回应: 感谢审稿专家的意见。我们已经在文章中进行相应的修改, t 检验都添加了自由度, 且刺激大小都报告了视角。

.....

审稿人 2 意见:

该研究采用了两种范式(即点探测任务与空白屏范式)试图回答, 在工作记忆的保持过程中, 对那些具有高价值的记忆项的注意刷新是否会显著多于那些低价值的记忆项。工作记忆中的注意刷新机制的确是目前的一个研究热点, 相关问题也十分有趣。我也理解, 本文作者采用的这两种实验范式, 都是前人使用过并且已经发表的范式。但我对这两种范式是否能够探讨注意刷新机制有疑问。

意见 1: 实验一中, 6 个记忆项是同时呈现, 在刺激消失后, 让被试进行点探测任务, 结果发现被试对高价值记忆项的回忆绩效更好, 而且高价值记忆项所处位置的点探测任务的反应时更短。这些结果可以说明, 被试对高价值记忆项所处的位置更关注。但这种关注, 到底是通过外部注意停留在高价值记忆项所处位置来实现, 还是通过内部注意更频繁地去刷新高价值记忆项来实现, 本研究的范式是无法区分的。如果是前者的话, 那实验一的结果是无法得出注意更多刷新高价值记忆项的结论的。

回应: 感谢审稿专家的意见。

注意刷新是一种内部注意过程。点探测任务之所以可以结合工作记忆任务来探究注意刷新, 正是基于这样的逻辑: 当注意指向工作记忆中存储的某个位置时, 内部注意会改善该位置的外部刺激的处理(Awh et al., 1998)。因此, Yin et al. (2019) 首次使用点探测任务探究了自我参照(self-referential)的刺激在工作记忆中得到优先刷新。他们的结果显示, 在点探测任务中, 相比朋友和陌生人匹配的刺激, 人们对自我匹配的刺激的反应时更快。因此, 根据他们的研究结果, 相比朋友和陌生人匹配的刺激, 人们优先刷新了自我参照的刺激。

在我们的实验一中, 相比低价值记忆项所在的位置, 被试对高价值记忆项所在位置的点探测任务的反应时更短。这说明被试在项目的维持期间, 可能优先刷新了高价值项目。我们认为, 实验一只能得出这样的结论。

您提的这两种可能性: 到底是通过外部注意停留在高价值记忆项所处位置来实现, 还是通过内部注意更频繁地去刷新高价值记忆项来实现, 实验一都没法解决。这 2 点正是我们实验三想要探究的 2 个假设, 也是注意刷新的机制问题。“通过外部注意停留在高价值记忆项所处位置来实现”涉及的是对高价值项所处位置的兴趣区有更长的停留时间(即有更长的注视时间), 而“通过内部注意更频繁地去刷新高价值记忆项来实现”涉及的是被试是否更频繁地去关注高价值项所处位置的兴趣区(即有更多的注视点个数)。

Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 780–790. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.780>

Yin, S., Sui, J., Chiu, Y. C., Chen, A., & Egner, T. (2019). Automatic prioritization of self-referential stimuli in working memory. *Psychological Science*, 30(3), 415–423. <https://doi.org/10.1177/0956797618818483>

意见 2: 实验二中, 6 个记忆项相继呈现, 位置随机, 其它都与实验一类似。结果也与实验一类似。但实验二的结果也存在与实验一相同的备择假设。如果被试只是被高价值记忆项所吸引而导致其将外部注意更多地投放在高价值记忆项所处的位置, 同时在记忆编码阶段, 被试也更重视高价值记忆项 (即编码深度更深), 也可以得到实验二的结果。注意, 对某个记忆项目所处位置的关注不能直接等同于内部注意对该项目的刷新。要想得到这一结论, 还需要实验证据的支持。

回应: 感谢审稿专家的意见。

(1) 另一位审稿专家也提出了类似的关于编码深度 (精细编码) 的问题。我们查阅了一些精细编码 (elaborative encoding) 相关的文献, 发现以往要求被试采用精细编码的研究, 通常会用指导语引导被试进行精细编码, 并且被试可用于编码的时间比较长 (e.g., Coane, 2013; Hawco et al., 2013; Karpicke & Smith, 2012)。例如, Coane (2013) 以词对为实验材料, 告知被试在精细编码的学习条件下, 要么努力寻找词对之间的相似性或共同点, 要么在脑海中创造一个能结合这两个单词的心理图像。在这两种情况下, 每个词对均呈现 5 秒。Karpicke 和 Smith (2012) 则采用了一种基于意象的精细学习方法, 即关键词法 (Atkinson, 1975; McDaniel & Pressley, 1984)。首先, 被试从一个新的英语单词中提取出一个熟悉的单词 (例如, antiar 可以提取出 ant)。这个被提取出的单词就被称为关键词。然后, 被试需要在关键词和单词的定义之间形成一个有意义的心理图像 (例如, antiar 意味着毒药, 所以被试可能会想象一只蚂蚁在喝毒药)。通过关键词法, 被试可以针对单词及其含义进行丰富的创造。在实验过程中, 每个单词呈现 7 秒。此外, 我们没有搜索到在短时间内 (如 2 秒内)、被试能够自发进行精细编码的研究。

实验一由于项目是同时呈现的, 确实有可能存在对高价值项目进行精细编码的可能。但是在实验二中, 被试可用于记忆任意一个项目 (字母+数字组合) 的时间为 1 秒。基于上述精细编码相关的研究, 我们认为被试在这么短的时间内、自发地对高价值项目采取精细编码的策略的可能性是非常低的。

(2) 对某个记忆项目所处位置的关注不能直接等同于内部注意对该项目的刷新。这个问题涉及到点探测范式或空白屏范式是否能够应用到注意刷新的研究中的。一方面, 我们之所以在本研究中使用了这两种范式来研究价值导向的注意刷新的问题, 是因为先前已经有研究使用这两种范式来研究注意刷新的问题, 如 Yin et al. (2019) 首次使用点探测任务探究了自我参照 (self-referential) 的刺激在工作记忆中得到优先刷新; Kádi & Babarczy (2021) 首次使用空白屏范式来研究语言焦点对工作记忆内容的刷新。另一方面, 这两个范式可用于探究注意刷新的问题, 在逻辑上是可行的。点探测任务可用于研究注意刷新的逻辑是: 当注意指向工作记忆中存储的某个位置时, 内部注意会改善该位置的外部刺激的处理 (Awh et al., 1998)。空白屏范式的基本原理是, 被试在记忆的编码阶段构建了视觉场景的心理表征, 该表征中与任务相关的项目可以在缺乏视觉场景的情况下仍然得到关注。于是, 焦点注意能够反映在注视的位置上: 被试注视屏幕上先前已经被任务相关项目所标记的位置区域 (Hoover & Richardson, 2008; Spivey & Geng, 2001; Theeuwes et al., 2009)。以往研究已经证实了内部注意对记忆项目所处位置的关注可能与注意对该项目的刷新有关。如研究表明, 当刺激消失后, 关注项目所在的区域能够提升该项目的工作记忆绩效 (Kuo et al., 2012; Martarelli et al., 2017; Vankov, 2009)。在空白屏上测得的眼动与注意转移到相关的记忆项目有关 (Scholz et al., 2016)。因此, 注意刷新会使个体的注意指向项目所在的位置区域, 从而引发眼球在空白屏幕中向对应的空间位置移动。

Atkinson, R. C. (1975). Mnemotechnics in second-language learning. *American Psychologist*, 30(8), 821–828.

<https://doi.org/10.1037/h0077029>

- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 780–790. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.3.780>
- Coane, J.H. (2013). Retrieval practice and elaborative encoding benefit memory in younger and older adults. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2013.04.001>
- Hawco, C., Armony, J. L., & Lepage, M. (2013). Neural activity related to self-initiating elaborative semantic encoding in associative memory. *NeuroImage*, 67, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.11.004>
- Hoover, M. A., & Richardson, D. C. (2008). When facts go down the rabbit hole: Contrasting features and objecthood as indexes to memory. *Cognition*, 108(2), 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.02.011>
- Karpicke, J. D., & Smith, M. A. (2012). Separate mnemonic effects of retrieval practice and elaborative encoding. *Journal of Memory and Language*, 67(1), 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.02.004>
- K ádi, T., & Babarczy, A., (2021). Linguistic focus guides attention during the encoding and refreshing of working memory content. *Journal of Memory and Language*, 116, 104187. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104187>
- Kuo, B.-C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 51–60. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00087
- Martarelli, C. S., Chiquet, S., Laeng, B., & Mast, F. W. (2017). Using space to represent categories: Insights from gaze position. *Psychological Research*, 81(4), 721–729. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0781-2>
- McDaniel, M. A., & Pressley, M. (1984). Putting the keyword method in context. *Journal of Educational Psychology*, 76(4), 598–609. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.76.4.598>
- Scholz, A., Mehlhorn, K., & Krams, J. F. (2016). Listen up, eye movements play a role in verbal memory retrieval. *Psychological Research*, 80(1), 149–158. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0639-4>
- Spivey, M. J., & Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, 65(4), 235–241. <https://doi.org/10.1007/s004260100059>
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132(2), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.01.005>
- Vankov, I. (2009). Mind the gap: The cost of looking at nothing, or the performance implications of memory-induced attention shifts. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 31(31), 7.
- Yin, S., Sui, J., Chiu, Y. C., Chen, A., & Egner, T. (2019). Automatic prioritization of self-referential stimuli in working memory. *Psychological Science*, 30(3), 415–423. <https://doi.org/10.1177/0956797618818483>

意见 3: 实验三中，采用了空白屏范式来探测注意刷新机制，其核心逻辑是，如果注意刷新某个记忆项，眼睛的注视点也会去关注该项目所处的位置。首先，这个逻辑同样缺少证据支持。其次，实验结果发现，在 3 秒钟的空白屏期间，被试注视高价值记忆项所处位置平均只有 0.32 次，而他们注意低价值项目所处位置也有 0.27 次，而且两种条件下的注视时长都在 320 毫秒左右（没有统计差异）。如果内部注意刷新记忆项的同时眼睛也会去盯着该记忆项所处位置的话，那实验三的结果似乎说明，注意刷新的频率非常低（每 3 秒 0.3 次，或每 10 秒 1 次），而刷新的时间也只有 300 毫秒。如果是这样的话，那么注意刷新的效率也太低了，不符合直觉。

回应: 感谢审稿专家的意见。您的意见让我们意识到我们在文章中表述不够清晰和完善。因此我们在前言中进行了相应的调整。

(1) 关于空白屏范式的逻辑：如果注意刷新某个记忆项，眼睛的注视点也会去关注该项目所处的位置。我们之前的文章中对此表述不够清晰，因此我们已经在原文的“前言”中进行了修改。具体见下面(2)中的“首先”这一段。

总之，空白屏范式的逻辑是有相应文献支撑的。并且 Kádi 和 Babarczy (2021) 首次使用空白屏范式来研究语言焦点对工作记忆内容的刷新，表明某种程度上，该范式能够用以研究注意刷新。

(2) 实验三显示的注视点次数确实略低于我们的直觉。这一问题另一位审稿专家也有提到。我们对此做出的解释如下：

首先，尽管空白屏范式可以直观地测量注意刷新的频率和轨迹，但不能保证被试的注视点能够理想地落在研究者关心的兴趣区内。这也是该范式的一个缺陷。空白屏范式的基本原理是，被试在记忆的编码阶段构建了视觉场景的心理表征，该表征中与任务相关的项目可以在缺乏视觉场景的情况下仍然得到关注。于是，焦点注意能够反映在注视的位置上：被试注视屏幕上先前已经被任务相关项目所标记的位置区域 (Hoover & Richardson, 2008; Spivey & Geng, 2001; Theeuwes et al., 2009)。以往研究表明，当刺激消失后，关注项目所在的区域能够提升该项目的工作记忆绩效 (Kuo et al., 2012; Martarelli et al., 2017; Vankov, 2009)。在空白屏上测得的眼动与注意转移到相关的记忆项目有关 (Scholz et al., 2016)。因此，注意刷新会使个体的注意指向项目所在的位置区域，从而引发眼球在空白屏幕中向对应的空间位置移动。(注，由于另外一位审稿专家的意见，本部分关于空白屏范式的原理的表述已经在原文的“前言”进行了相应的修改)

然而，上述论述只是空白屏范式的理想状态，并不能保证被试的注视点都落在项目所对应的位置内。这是因为在空白屏中，被试的注视点不仅会分配给每一个项目，而且会落在项目所在的兴趣区之外。并且由于存在多个项目，被试可能会在空白屏期间内进行多次扫视 (saccade)，使得其注视点不停地在多个项目的位置上切换，从而导致落在项目对应位置的注视点变少。

此外，研究还表明，有些时候即使眼球没有运动，隐蔽的注意转移同样可以提高记忆提取的绩效 (Scholz et al., 2018)。这意味着，注意刷新可能发生在一些没有被眼动轨迹所记录的隐蔽的注意转移过程中。因此，眼动轨迹并不能完全描述注意刷新的全部过程，只能说能够部分描述注意刷新的过程。

其次，实验三中，虽然空白屏的呈现时间是 3000 ms，但实际上真正停留在各项目所对应兴趣区的时间可能并没有太长。比如以往研究表明，对一个指定视觉刺激的单次扫视的时间大约在 200 ms (Duchowski, 2007; Fischer & Ramsperger, 1984)。在实验三中，由于存在 4 个图形，被试花费在扫视上的时间至少是 800 ms，而此时间还只是假设被试仅仅对每个项目进行了一次扫视 (实际上可能会更多)。再加上被试的注视点可能处于兴趣区之外，以及隐蔽的注意转移等原因，被试真正用于停留在兴趣区内的时间并没有太长，因而注视次数也较少。

综上所述，使用空白屏范式来研究注意刷新的问题，可能不可避免地会导致记录的注视点个数要少于我们通常所使用的那些实验范式。

(3) 实验三注意刷新的频率非常低 (每 3 秒 0.3 次，或每 10 秒 1 次)，而刷新的时间也只有 300 毫秒。如果是这样的话，注意刷新的效率太低。由于至今并没有实证研究表明，对单个项目进行注意刷新的具体时间是多少，以及对每个项目刷新的频率是多少，我们无法判断在 3000 ms 的空白屏期间，单个项目 0.3 次，每个项目 320 ms 左右的刷新时间是高效还是低效。首先，关于注视点次数较低的原因，我们已经在上面(2)中做出了解释。其次，关于刷新时间的问题，实验三得到的刷新时间与以往研究并不相悖。以往研究发现，个体能够在 500 ms 内完成对单个项目的刷新 (Yi et al., 2008; Souza et al., 2018)。在这两个研究中，

500 ms 并不是单个项目的确切刷新时间，而是实验操纵被试可用于刷新单个项目的时间为 500 ms。换言之，被试真正刷新单个项目的时间应该要少于 500 ms。因此，实验三得到的刷新时间是合理的，处在以往研究操纵可用于刷新的时间范围内。但至于价值导向的注意刷新是否还能够更高效，由于缺乏相关的研究，我们没法做出相应的判断。这可能需要后续大量的研究来进一步探究。

(4) 由于本文也是首次将空白屏范式应用于价值导向的注意刷新的研究，本实验确实还有值得改进的地方。根据上面的分析，我们认为，之所以在实验三中注视点较少，主要可能跟兴趣区不够大和空白屏持续时间不够长有关。因此，针对本实验，未来的研究可以从下面几个方面加以改进并验证。第一，在保证正确率在合理范围（约 60-80%）的前提下，增加图形的复杂度。正确率设置在合理范围是为了确保价值引导是有效的。增加图形的复杂度是为延长空白屏的时间做准备；第二，增加图形刺激的视角大小，以扩大兴趣区的视角大小；第三，延长空白屏的时间。关于这部分的表述，我们已经在“不足”中进行了相应的补充。

Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (2nd ed.). Springer.

Fischer, B., & Ramsperger, E. (1984). Human express saccades: Extremely short reaction times of goal directed eye movements. *Experimental Brain Research*, 57(1). <https://doi.org/10.1007/BF00231145>.

Hoover, M. A., & Richardson, D. C. (2008). When facts go down the rabbit hole: Contrasting features and objecthood as indexes to memory. *Cognition*, 108(2), 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.02.011>.

Kádi, T., & Babarczy, A., (2021). Linguistic focus guides attention during the encoding and refreshing of working memory content. *Journal of Memory and Language*, 116, 104187. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104187>

Kuo, B. C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(1), 51–60. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00087.

Martarelli, C. S., Chiquet, S., Laeng, B., & Mast, F. W. (2017). Using space to represent categories: Insights from gaze position. *Psychological Research*, 81(4), 721–729. <https://doi.org/10.1007/s00426-016-0781-2>.

Scholz, A., Klichowicz, A., & Krems, J. F. (2018). Covert shifts of attention can account for the functional role of "eye movements to nothing". *Memory & Cognition*, 46(2), 230–243. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0760-x>

Scholz, A., Mehlhorn, K., & Krems, J. F. (2016). Listen up, eye movements play a role in verbal memory retrieval. *Psychological Research*, 80(1), 149–158. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0639-4>.

Souza, A. S., Vergauwe, E., & Oberauer, K. (2018). Where to attend next: Guiding refreshing of visual, spatial, and verbal representations in working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 76–90. <https://doi.org/10.1111/nyas.13621>.

Spivey, M. J., & Geng, J. J. (2001). Oculomotor mechanisms activated by imagery and memory: Eye movements to absent objects. *Psychological Research*, 65(4), 235–241. <https://doi.org/10.1007/s004260100059>.

Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132(2), 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.01.005>.

Vankov, I. (2009). Mind the gap: The cost of looking at nothing, or the performance implications of memory-induced attention shifts. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 31(31), 7.

Yi, D. J., Turk-Browne, N. B., Chun, M. M., & Johnson, M. K. (2008). When a thought equals a look: Refreshing enhances perceptual memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1371–1380. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20094>.

第二轮

审稿人 1 意见:

作者对上一次的评审意见进行了认真的回答, 评审人对作者的回答较为满意。同意发表。

审稿人 2 意见:

感谢作者对我一审提出问题的回答, 我对这些回答基本满意, 没有新的疑问了。

编委意见:

本论文利用点探测任务和空白屏范式, 探讨了工作记忆维持阶段价值导向的注意刷新及其机制。本论文研究思路清晰, 实验范式选用恰当, 研究结论可信, 参考外审专家意见进行修改后, 已经达到发表要求, 建议发表。

主编意见:

该文经两轮审稿, 审稿人提出详尽的修改意见, 作者进行了仔细的修改, 审稿专家和编委都表示满意, 整个审稿流程规范, 论文在研究范式上有一定的创新性, 同意接收。