

视知觉学习的记忆再激活机制

王 婷

苏州大学教育学院心理学系, 江苏 苏州

收稿日期: 2023年5月9日; 录用日期: 2023年6月20日; 发布日期: 2023年6月29日

摘 要

文章综述了知觉学习领域的记忆再激活的新近研究进展, 以传统认知学习中的“熟能生巧”为起点, 关于记忆再激活的研究挑战了这一传统认知观点并延伸了关于记忆再激活学习机制的诸多研究, 形成了一个完整的提出假设和验证假设的过程, 并通过行为数据与神经化学机制的检验, 揭示了记忆的再激活过程在不同人群、不同实验刺激水平下的学习机制的差异。

关键词

知觉学习, 记忆再激活, 离线学习, 再巩固

Mechanism of Memory Reactivation in Visual Perceptual Learning

Ting Wang

Department of Psychology, School of Education, Soochow University, Suzhou Jiangsu

Received: May 9th, 2023; accepted: Jun. 20th, 2023; published: Jun. 29th, 2023

Abstract

This paper reviews the recent research of memory reactivation in the field of perceptual learning. Starting from the traditional cognitive learning concept of “practice makes perfect”, the research of memory reactivation challenges the traditional cognitive view and extends many studies on the mechanism of memory reactivation learning, forming a complete process of hypothesis raising and hypothesis testing. Through the test of behavioral data and neurochemical mechanism, the differences of learning mechanism of reactivation process in different populations and different experimental stimulus levels were revealed.

Keywords

Perceptual Learning, Memory Reactivation, Off-Line Learning, Reconsolidation

Copyright © 2023 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. 记忆再激活对学习的作用

知觉学习是通过练习和训练来提高知觉能力的过程。视觉感知是大脑对外界物理刺激的一种主观重建, 视知觉学习是通过练习和训练获得视觉技能的过程和结果[1], 它的作用时间可以持续数月甚至是数年的时间。通过多天的训练, 个体的物体识别能力可以得到有效的提高。一般而言, 知觉学习对于训练的朝向、位置等具有高度的特异性, 这与神经生理学的研究相一致, 即 V1 的神经元相比较高区域的神经元拥有更小的感受野。

视知觉学习领域的研究中, 影响知觉学习效果的因素有许多, 关于试次的数量与行为改善之间的关系知之甚少[2]。人类的感知的阈值可以通过训练和学习来提高, 在神经生物学、认知神经科学、神经康复以及日常的生活中的理论中, 较为流行和主导的观念是“熟能生巧”, 如传统知觉学习的研究范式通常涉及成百甚至上千个试次, 这种感知能力的提高可以被归因于大脑的可塑性机制。而已有的研究[3]挑战了熟能生巧作为学习的单一解释, 具有重要的临床应用意义。研究发现通过短暂的再激活编码的视觉记忆足以提高辨别阈值, 并且这一学习的程度与标准的练习引起的学习程度相当。这一现象既不是由于短期训练本身的作用, 也不是由于启动检索提高的现象。这一发现被解释为记忆再激活有利于辨别学习的证据, 也就是说, 学习的发生受益于程序性记忆的再激活, 再激活可以改善基础的知觉功能, 这支持了知觉学习动力学的解释。这一研究结果并不完全意味着取代依赖于可塑性机制的“熟能生巧”理论, 而是意味着视知觉学习能力背后的一种更经济的机制。类似的机制在是否在知觉学习的其它感觉模式或在其它记忆领域的再激活机制中起作用目前尚未可知。通过使用记忆再激活框架进行知觉学习研究, 挑战了“熟能生巧”作为这种学习形式的单一解释, 并具有深远的临床应用价值。由此, 在视知觉学习领域, 关于记忆再激活的研究领域诞生了一个重要的研究范式。

2. 再巩固与再激活的关系

记忆巩固是短时记忆转化为长时记忆的过程, 巩固依赖于蛋白质合成。传统上认为蛋白质合成依赖的记忆只发生一次。然而, 许多研究发现[4], 记忆在再激活(检索)后重新依赖蛋白质合成, 这一过程被称为再巩固。也就是说, 对视觉对象编码后, 记忆痕迹是脆弱的, 除非通过巩固的过程稳定下来, 不然很容易被新的学习破坏。再激活是对先前巩固的记忆的检索, 但这一过程容易使得记忆痕迹再次变得不稳定, 除非经过进一步的巩固过程, 即再巩固。

通过一项敲击手指的任务, 有研究[5]提供了不同阶段的运动记忆的加工证据, 他们的研究表明清醒时的再激活可以将先前巩固的记忆转变为需要随后的再巩固的一种不稳定状态。然而, 一个关键问题是, 重新激活一段记忆是否会使得相关记忆在某种程度上变得不稳定, 从而需要重新巩固。一项神经生物学的研究发现[6], 直接再激活的记忆会变得不稳定, 因而可能需要再巩固; 而间接再激活的(比如相关的)记忆则不会变得不稳定, 也就是说, 在检索过程中, 再巩固的中断以及记忆更新仅限于特定和直接激活的

记忆网络方面。因而，记忆再激活产生的是有限的内容，而不是记忆及其关联的整体的变化。

一直以来，记忆的再激活与再巩固是否具有共同的机制[7]以及是否发生在人类的行为层面仍存在争议[8]。已有研究将视觉任务的两种动态状态纳入研究范畴：再激活后不久的脆弱状态和再激活后 3.5 h 的重新巩固状态，结果表明在视知觉学习领域，重新激活后确实会发生再巩固，再激活和再巩固有共同的行为和神经化学机制[9]。再巩固发生在重新激活训练后的 3.5 h 内，但并不一定表明整个再巩固过程发生在 3.5 h 的间隔内，目前尚不清楚这些结果可以推广到何种程度，需要进一步研究再巩固与再激活相关的可塑性变化的时间动态进程。

3. 再激活中的离线学习机制

传统的知觉学习的长期的完全练习(full-practice)和短暂的记忆再激活(memory reactivation)之间有着诸多差异。感知和运动技能的学习通常在两种时间窗口进行累积：一是技能执行期间，一般这一过程是在线学习(onlinelearning)的参与[10]；另一种是在 session 之间[11]，这可能是通过再巩固的认知加工过程(offlinelearning)。以往研究表明，在完全练习的条件下，标准的运动技能的学习从离线巩固中比在线学习中的获益更多。

已有研究在一个更专注于更复杂对象的范式中，探究是否出现类似的激活效应，揭示物体识别变化的具体原因。通过使用对象命名范式，发现短暂的记忆再激活组比长期的完全练习组在最后一天的学习率表现更差[12]，即在视觉学习中，短暂的再激活与传统的时间密集型的训练虽然一样能带来更多的学习增益，然而，相比于大量的练习，进行传统重复练习的受试者有更好的学习效果，而再激活组的学习效果较小。另一项相关研究依然将实验刺激特征纳入研究范畴[13]，将实验刺激的连续性分为高、低两种，结果发现高连续性再激活组与低连续性再激活组都有良好的学习效果，但高连续性再激活组比控制组的学习增益更强，并与完全练习组等量齐观；然而，再激活的学习效果并不是完全一样的，而是由再激活期间连续正确序列的数量决定的。研究也发现了连续的运动技能记忆的再激活有利于产生更多的学习效益，这意味着再激活的连续性可能确保了原始记忆痕迹的有效激活，激发巩固过程，从而获得了更高的离线学习收益，短暂的记忆再激活的学习收益可以通过反复的练习来达到。值得注意的是，再激活期间的错误本身的数量并不能预测成功的再激活，这一结果与之前的研究一致，即中断会影响任务中的表现。另外，未来的研究应当更好的区分再激活诱导学习的直接影响与长期影响，因后者的睡眠依赖性特性，因而涉及再巩固的机制。

4. 特殊群体中的记忆再激活学习

关于记忆再激活的研究中，特殊群体(自闭症群体)在视知觉学习领域有重要的研究进展[14]。由于 ASD 群体在感觉处理和应对环境的变化等方面存在一定困难，因此有效的视觉技能的学习尤为重要。研究表明，ASD 人群成功地可以通过 5 次的再激活来进行学习，而不是数百次的实验，即短暂的记忆再激活可以提高 ASD 群体的视觉辨别能力和产生有效的学习，这一研究结果与 Amar-Halpert 等人在正常人群中的研究发现一致。也就是说，随着每次的记忆激活，原始记忆痕迹随后在离线状态下得到加强，这也为无需大量练习的有效学习提供了充分的条件；此外，与传统的导致特异性的经验依赖的可塑性相反，记忆再激活的 ASD 人群可以将学习泛化到未训练的视野位置上，而没有记忆再激活的 ASD 人群中未观察到这一泛化现象，这表示了 ASD 群体的再激活学习机制的独特之处，可能有利于其他感觉和运动技能领域的学习，这支持了 ASD 群体中有效的视觉学习和泛化的独特路径。同时，这可能表明，再激活引起的学习涉及高阶表征，而限于 ASD 人群中特定的低水平的视网膜位置。这一现象可以用最近的一项测试视觉辨别阈值泛化的研究[15]来解释，这一研究发现，通过在刺激重复之间插入非目标试次来减少视觉

适应,可以消除 ASD 的过度特异性。因此,记忆再激活和缺乏广泛的训练可能阻碍了适应,从而使得泛化在自闭症群体中出现。未来的研究也可以聚焦其他再激活的条件,比如近阈值的条件是否可以促进 ASD 群体的知觉学习的泛化等。

总而言之,再激活的质量可能决定了他们在诱导学习增益方面的有效性,包括刺激的连续性、刺激的复杂性以及再激活的时间间隔等。通过改变实验刺激条件和实验人群,揭示记忆的再激活在学习中的差异,这对于实验研究的生态效度有着重要的意义。未来的研究应该更多地探索在知觉学习领域不同的视觉任务、训练方案和学习模式对于记忆的再激活的作用,通过揭示记忆再激活的特点、作用、发生规律以及对学习效果的影响,从而阐明相应的学习过程、学习机制以及大脑的加工过程。

参考文献

- [1] Sagi, D. (2011) Perceptual Learning in Vision Research. *Vision Research*, **51**, 1552-1566. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.10.019>
- [2] Song, Y., Chen, N. and Fang, F. (2021) Effects of Daily Training Amount on Visual Motion Perceptual Learning. *Journal of Vision*, **21**, 6. <https://doi.org/10.1167/jov.21.4.6>
- [3] Amar-Halpert, R., Laor-Maayany, R., Nemni, S., Rosenblatt, J.D. and Censor, N. (2017) Memory Reactivation Improves Visual Perception. *Nature Neuroscience*, **20**, 1325-1328. <https://doi.org/10.1038/nn.4629>
- [4] Nader, K., Schafe, G.E. and Le Doux, J.E. (2000) Fear Memories Require Protein Synthesis in the Amygdala for Reconsolidation after Retrieval. *Nature*, **406**, 722-726. <https://doi.org/10.1038/35021052>
- [5] Walker, M.P., Brakefield, T., Hobson, J.A. and Stickgold, R. (2003) Dissociable Stages of Human Memory Consolidation and Reconsolidation. *Nature*, **425**, 616-620. <https://doi.org/10.1038/nature01930>
- [6] Deębiec, J., Doyère, V., Nader, K. and LeDoux, J.E. (2006) Directly Reactivated, but Not Indirectly Reactivated, Memories Undergo Reconsolidation in the Amygdala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**, 3428-3433.
- [7] Lee, J.L., Everitt, B.J. and Thomas, K.L. (2004) Independent Cellular Processes for Hippocampal Memory Consolidation and Reconsolidation. *Science*, **304**, 839-843. <https://doi.org/10.1126/science.1095760>
- [8] Hardwicke, T.E., Taqi, M. and Shanks, D.R. (2016) Postretrieval New Learning Does Not Reliably Induce Human Memory Updating via Reconsolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **113**, 5206-5211. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601440113>
- [9] Bang, J.W., Shibata, K., Frank, S.M., Walsh, E.G., Greenlee, M.W., Watanabe, T. and Sasaki, Y. (2018) Consolidation and Reconsolidation Share Behavioral and Neurochemical Mechanisms. *Nature Human Behaviour*, **2**, 507-513. <https://doi.org/10.1038/s41562-018-0366-8>
- [10] Dayan, E. and Cohen, L.G. (2011) Neuroplasticity Subservicing Motor Skill Learning. *Neuron*, **72**, 443-454. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.10.008>
- [11] Stickgold, R., Hobson, J.A., Fosse, R. and Fosse, M. (2001) Sleep, Learning, and Dreams: Off-Line Memory Reprocessing. *Science*, **294**, 1052-1057. <https://doi.org/10.1126/science.1063530>
- [12] Chen, C.Y. and Op de Beeck, H. (2021) Perceptual Learning with Complex Objects: A Comparison between Full-Practice Training and Memory Reactivation. *eNeuro*, **8**, ENEURO.0008-19.2021. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0008-19.2021>
- [13] Herszage, J., Sharon, H. and Censor, N. (2021) Reactivation-Induced Motor Skill Learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118**, e2102242118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102242118>
- [14] Klorfeld-Auslender, S., Paz, Y., Shinder, I., Rosenblatt, J., Dinstein, I. and Censor, N. (2022) A Distinct Route for Efficient Learning and Generalization in Autism. *Current Biology*, **32**, 3203-3209.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.05.059>
- [15] Harris, H., Israeli, D., Minshew, N., Bonne, Y., Heeger, D.J., Behrmann, M. and Sagi, D. (2015) Perceptual Learning in Autism: Over-Specificity and Possible Remedies. *Nature Neuroscience*, **18**, 1574-1576. <https://doi.org/10.1038/nn.4129>