

## PERAN NEUROSAINS DAN SIRKUIT OTAK DALAM MEMORI BELAJAR

**Yuliana**

Universitas Udayana, Indonesia  
korespondensi: [yuliana@unud.ac.id](mailto:yuliana@unud.ac.id)

### Abstrak

Pengetahuan mengenai neurosains penting untuk memaksimalkan proses belajar dalam sistem pendidikan yang optimal. Neurosains mengkaji sel saraf (neuron), sirkuit otak, dan sistem saraf serta kepekaan otak ditinjau dari segi biologi, memori, dan persepsi. Dengan memaksimalkan keterkaitan antara neurosains dan pembelajaran, diharapkan proses belajar lebih optimal. Tujuan penulisan adalah mengkaji lebih dalam mengenai peran neurosains dan sirkuit otak dalam memori belajar. Tulisan ini merupakan *narrative literature review*. Artikel dipilih berdasarkan tahun terbitan (5 tahun terakhir), jumlah kata kunci yang sesuai (minimal 3 dari 5), serta kesesuaian abstrak dan keseluruhan teks artikel dengan tujuan penulisan. Hasil telaah pustaka menunjukkan bahwa peran neurosains dalam proses belajar terkait dengan memahami serta memaksimalkan fungsi otak dan pikiran. Neurosains memberikan landasan bagaimana berinteraksi dengan dunia luar dalam proses kognitif dan tingkah laku yang dihasilkan. Cara berpikir rasional, spiritual, dan emosional akan menghasilkan dampak yang berbeda. Tiap bagian otak tertentu berperan dalam menata kecerdasan yang berbeda. Kecerdasan kinestetik berada di korteks serebri di daerah motoric. Kecerdasan matematika berpusat di otak kiri. Kecerdasan interpersonal terkait dengan sistem limbik, lobus prefrontalis, dan lobus temporalis. Memaksimalkan dan menstimulasi fungsi area otak tertentu akan memberikan hasil yang optimal terkait proses pembelajaran. Simpulan: memaksimalkan peran neurosains dalam proses belajar akan meningkatkan hasil pembelajaran yang dicapai.

**Kata kunci:** memori, neuron, neurosains, sirkuit otak, sistem pendidikan.

## THE ROLE OF NEUROSCIENCE AND BRAIN CRICUIT IN THE LEARNING PROCESS

**Yuliana**

Universitas Udayana, Indonesia  
correspondence: [yuliana@unud.ac.id](mailto:yuliana@unud.ac.id)

### Abstract

Understanding neuroscience is critical to maximize the learning process in an optimal education system. Neuroscience studies neuron, brain circuit, the nervous system, and brain sensitivity in terms of biology, memory and perception. By maximizing the link between neuroscience and learning, it is hoped that the learning process will be more optimal. The purpose of this writing is to describe the role of neuroscience and brain circuit in the learning memory. This article is a *narrative literature review*. Articles are selected based on the year of publication (last 5 years), the number of appropriate keywords (minimum 3 out of 5), as well as the suitability of the abstract and overall text of the article to the purpose of writing. The results of the literature review show that the role of neuroscience in the learning process is related to understanding and maximizing the function of the brain and mind. Neuroscience provides a basis for how to interact with the outside world in cognitive processes and resulting behavior. Rational, spiritual and emotional ways of thinking will produce different impacts. Each particular part of the brain plays a role in organizing different intelligences. Kinesthetic

intelligence resides in the cerebral cortex in the motor area. Mathematical intelligence is focused in the left brain. Interpersonal intelligence is related to the limbic system, prefrontal lobe, and temporal lobe. Maximizing and stimulating the function of certain brain areas will provide optimal results related to the learning process. Conclusion: maximizing the role of neuroscience in the learning process will improve the learning outcomes achieved.

**Keywords:** brain circuit, education system, memory, neuron, neuroscience.

## **Pendahuluan**

Neurosains berkaitan dengan kognitif yang mencakup pikiran, persepsi, atensi, dan memori. Istilah neurosains mengarah pada penelitian mengenai sistem saraf, mulai dari tingkat molekuler sampai yang lebih tinggi. Bahasa, sirkuit otak, proses pembelajaran, dan pengambilan keputusan juga terkait dengan studi mengenai neurosains. Dengan demikian, neurosains dan sirkuit otak erat kaitannya dengan proses pembelajaran (Nobre & Stokes, 2019).

### ***Neuroplasticity/Neural plasticity (neuroplasticity/brain plasticity)***

Neuroplastisitas adalah kemampuan sistem saraf untuk mengubah aktivitasnya sebagai respon terhadap stimuli instrinsik dan ekstrinsik melalui pengaturan kembali struktur, fungsi, maupun koneksi. Neuron (sel saraf) mampu memodifikasi kekuatan dan efikasi transmisi sinaptik melalui berbagai mekanisme plastisitas sinaptik. Sifat plastisitas ini terkait erat dengan proses belajar, pengalaman baru, memori, perkembangan otak, homeostasis, maupun pemulihan setelah terjadinya cedera otak. Plastisitas otak dapat ditingkatkan dengan kegiatan positif berupa aktivitas fisik, meditasi, dan bermain (Chen et al., 2020; Jan et al., 2019; Kaczmarek, 2020; Mateos-aparicio & Rodríguez-moreno, 2019; Pavarini et al., 2021).

### ***Hippocampus***

Bagian otak lain yang berperan penting untuk memori kontekstual dan episodik adalah hippocampus. Neuron yang ada di hippocampus memberikan respon terhadap berbagai tipe informasi dan mikrosirkuit untuk mengelola memori. Neuron tersebut akan mengalami adaptasi molekuler (Jovasevic et al., 2024). Bagian otak lain yang berperan penting dalam mempertahankan memori adalah gyrus dentatus (Carretero-guillén et al., 2024; Terada et al., 2023).

Pengetahuan mengenai neurosains penting untuk memaksimalkan proses belajar dalam sistem pendidikan yang optimal. Neurosains mengkaji sel saraf (neuron), sirkuit otak, dan sistem saraf serta kepekaan otak ditinjau dari segi biologi, memori, dan persepsi (Sherman et al., 2024). Dengan memaksimalkan keterkaitan antara neurosains dan pembelajaran, diharapkan proses belajar lebih optimal. Tujuan penulisan adalah mengkaji lebih dalam mengenai peran neurosains dan sirkuit otak dalam memori belajar.

## **Metode**

Tulisan ini merupakan *narrative literature review*. Artikel dipilih berdasarkan tahun terbitan (5 tahun terakhir), jumlah kata kunci yang sesuai (minimal 3 dari 5), serta kesesuaian abstrak dan keseluruhan teks artikel dengan tujuan penulisan, sesuai dengan alur berikut ini:

Seleksi artikel → sesuai kata kunci (3 dari 5 kata kunci terpenuhi, yaitu memori, neuron, neurosains, sirkuit otak, sistem pendidikan) → kesesuaian abstrak → dirangkum dan disajikan dalam bentuk narasi

## **Hasil dan Pembahasan**

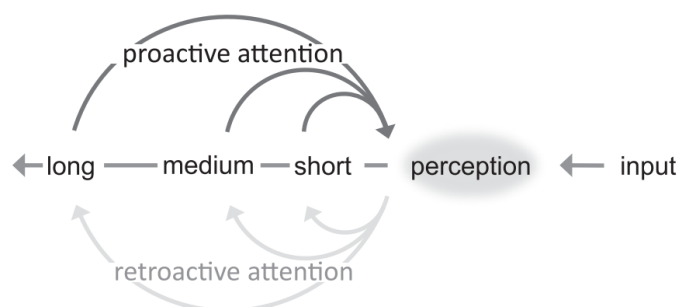
Hasil telaah pustaka menunjukkan bahwa peran neurosains dalam proses belajar terkait dengan memahami serta memaksimalkan fungsi otak dan pikiran. Neurosains memberikan landasan bagaimana berinteraksi dengan dunia luar dalam proses kognitif dan tingkah laku

yang dihasilkan. Cara berpikir rasional, spiritual, dan emosional akan menghasilkan dampak yang berbeda. Tiap bagian otak tertentu berperan dalam menata kecerdasan yang berbeda. Kecerdasan kinestetik berada di korteks serebri di daerah motorik. Kecerdasan matematika berpusat di otak kiri. Kecerdasan interpersonal terkait dengan sistem limbik, lobus prefrontalis, dan lobus temporalis. Memaksimalkan dan menstimulasi fungsi area otak tertentu akan memberikan hasil yang optimal terkait proses pembelajaran (Amin, 2018). Penelitian lain menyebutkan bagian otak yang terkait dengan memori episodik antara lain prefrontal, parietal, serta cortex parahippocampus (Bevandic et al., 2024).

Proses pembelajaran bisa ditingkatkan melalui modulasi atensi. Hal ini dikaitkan dengan tugas dan kinerja di masa yang akan datang. Perubahan persepsi merupakan jembatan penting untuk pembelajaran di masa lampau dan hal yang baru dipelajari (Crossley et al., 2023; Nobre & Stokes, 2019).

### ***Pembentukan memori***

Esensi dibentuknya memori adalah melalui jejak yang ditinggalkan dari sebuah pengalaman. Dari sebuah pengalaman sementara, memori itu dapat bertahan sepanjang hayat serta mendukung keadaan tidak sadar sampai fenomena rekolektif (pemanggilan memori kembali). Dengan demikian, informasi yang diperoleh wajib dipilah dan diprioritaskan mana yang penting. Isi memori dan fungsi atensi (perhatian) membentuk proses transformasi sinyal menjadi persepsi, pilihan, aksi, dan memori baru di otak sehingga menentukan perilaku adaptif di masa yang akan datang sesuai dengan Gambar 1. Pengalaman yang relevan perlu dikoleksi untuk mengantisipasi kebutuhan di masa yang akan datang dan mengarahkan perilaku yang sesuai (Nobre & Stokes, 2019) (Nobre & Stokes, 2019).



Gambar 1. Interaksi mutual antara memori dan atensi (perhatian) (Nobre & Stokes, 2019)

Memori terkait dengan masa lalu, namun memori menentukan masa depan. Memori erat hubungannya dengan kemampuan mengingat dalam dimensi waktu, interelasi, dan hubungan antar sel saraf. Memori akan memberikan pedoman khusus untuk atensi selektif dan berfokus pada pengalaman sebelumnya untuk mengantisipasi kejadian relevan terkait. Sifat memori adalah proaktif, dinamis, dan adaptif. Oleh karena itu, memori sering direkam berdasarkan kebutuhan di masa yang akan datang (Nobre & Stokes, 2019).

Menurut Hebbian, ada dua sistem memori yang berbeda, yaitu memori jangka pendek dan memori jangka panjang. Memori jangka pendek tergantung pada aktivitas sel *reverberatory* (yang bertugas untuk repetisi). Memori jangka panjang melibatkan penguatan hubungan sinaptik antar neuron (Nobre, 2022).

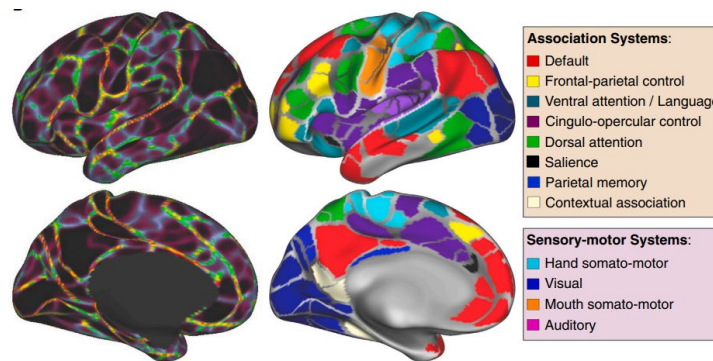
*Working memory* terkait dengan pemilihan isi mnemonik untuk masa yang akan datang. *Working memory* adalah kemampuan untuk memegang, mengingat, mempertahankan, dan memanipulasi sebagian kecil informasi di pikiran. Perspektif ini beralih dari pandangan tradisional representatif menuju *forward-looking memory traces* (jejak masa depan) yang secara komputasional dan infomasional ditujukan untuk berinteraksi dengan sinyal sensori

yang akan datang sehingga dapat membentuk tingkah laku adaptif. *Working memory* yang dipertahankan dengan baik akan meningkatkan pengenalan kejadian serupa di masa yang akan datang. Bagian otak yang memiliki peranan penting untuk mempertahankan *working memory* adalah *hippocampus* (Nobre & Stokes, 2019).

Proses pengambilan keputusan mengarah pada kemampuan memilih satu di antara berbagai alternatif pilihan untuk menghasilkan keputusan yang menguntungkan. Pilihan dibuat berdasarkan pengharapan dari pengalaman masa lampau dan proses pembelajaran. Penelitian akhir-akhir ini menunjukkan bahwa berbagai jejak memori bekerjasama untuk mengoptimalkan *reinforcement learning*, termasuk pembelajaran lambat melalui uji coba secara episodic terkait dengan pengalaman individu. Pengambilan keputusan berhubungan dengan atensi selektif dan memprioritaskan informasi (Botvinick et al., 2019; Chiu & Egner, 2020).

### ***Bagian otak yang berperan penting dalam pembentukan memori***

Selama beberapa dekade terakhir ini, berbagai peneliti telah berusaha menggali lebih dalam mengenai dasar molekuler dan neurobiologi proses memperoleh, menyimpan, dan memanggil kembali informasi. Teknologi *neuroimaging* telah menunjukkan beberapa sirkuit otak yang penting, antara lain amygdala, cortex prefrontal, dan hippocampus. Amygdala penting untuk pemrosesan emosi serta berinteraksi dengan struktur lainnya seperti hipotalamus dan batang otak. Amygdala juga memiliki peranan penting dalam modulasi memori. Hippocampus terkait dengan navigasi spasial dan memori kontekstual. Hippocampus membentuk proyeksi langsung dengan cortex infralimbik di prefrontal cortex dan basolateral amygdala (Battaglia et al., 2024; Liloia et al., 2022; Nani et al., 2021; Tanaka et al., 2023; Volnova et al., 2023; Wen et al., 2024). Penelitian oleh Terranova et al. menyebutkan bahwa hippocampus bagian dorsal dan amygdala terkait erat dengan memori yang berhubungan dengan rasa takut. Sementara itu, hippocampus bagian ventral terkait dengan pembentukan dan *recall* memori pengenalan sosial/kedekatan hubungan (Terranova et al., 2022). Concina et al., meneliti bahwa hippocampus dan amygdala erat kaitannya dengan memori kejadian masa lampau (*remote memory*) (Concina et al., 2024). Bagian otak terkait dapat dilihat pada Gambar 2 (Petersen et al., 2024).



Gambar 2. Bagian otak yang berperan untuk meningkatkan pembentukan memori (Petersen et al., 2024)

### ***Sirkuit otak yang berperan untuk membentuk memori***

Berdasarkan penelitian yang mengidentifikasi komponen persisten dan *plastic* dari keseluruhan konfigurasi fungsional otak, ditemukan bahwa pola konektivitas fungsional dalam kondisi eksekutif, *default*, dan sirkuit serebular tetap dari kondisi *baseline* sampai *post-encoding*. Sirkuit otak yang terlibat adalah *medial temporal lobe*, *prefrontal cortex*, thalamus, dan sirkuit visual. Secara umum, semua konfigurasi otak manusia berubah segera setelah belajar.

Konfigurasi sistem otak secara spasial dan fungsional akan mendukung memori (Passiatore et al., 2021).

Hippocampus mengirimkan akson yang secara langsung bersinaps dengan GABAergic interneurons pada basolateral amygdala. Hambatan pada akson ini akan mencegah pembentukan *remote memories* yang berbeda. Hippocampus memiliki peranan penting dalam pengalaman belajar melalui dua mekanisme penting, yaitu pola separasi dan pola kompetisi. Pola separasi mengurangi tumpang tindih antara informasi yang tersedia untuk mengefektifkan ruang penyimpanan informasi. Pola kompetisi memungkinkan *recall* dari semua informasi yang diperoleh. Penelitian menunjukkan bahwa hippocampus secara langsung mengaktivasi daerah GABAergic interneuron pada basolateral amygdala sebagai bentuk pola separasi. Dengan demikian, hippocampus dan amygdala secara bergantian menentukan pola separasi memori emosional dan episodic (Concina et al., 2024).

Di samping striatum, amygdala, dan hippocampus, ternyata ada berbagai bagian otak lain yang juga memiliki peranan yang tak kalah pentingnya untuk pembentukan memori. Sebagai contoh, cerebellum dikaitkan dengan berbagai bentuk *eyeblick conditioning* (kedipan mata). Hal ini terkait dengan petanda visual atau auditori. *Functional dissociations* juga memiliki hubungan dengan cerebellum dalam hal *conditioning behaviour*. *Cerebellar cortex* dan *deep cerebellar nuclei* berperan dalam proses pembelajaran awal serta respon terkondisi (Sherman et al., 2024).

### ***Hal-hal khusus serta aktivitas yang dapat meningkatkan memori***

Tidur membantu meningkatkan konsolidasi memori melalui reaktivasi pola saraf dan kode informasi. Tidur diperlukan untuk *counterbalance* peningkatan konektivitas sinaptik (Tahmasian et al., 2020). Tidur yang cukup akan meningkatkan kualitas memori episodik. Memori episodik adalah kemampuan untuk mengingat memori kejadian dalam hidup berdasarkan konteks spasiotemporal dan mampu memanggil kembali ingatan tersebut di waktu yang akan datang sesuai dengan kaidah *what-where-when* (*W-W-W memory*). Hal ini berkaitan dengan identitas personal dan membantu dalam membuat keputusan maupun perencanaan harian (Bevandic et al., 2024).

Penelitian Shad et al. pada tahun 2023 menunjukkan bahwa intervensi edukasi, terutama yang berupa *brain-based learning* dapat secara efektif dan efisien meningkatkan performa dan keahlian murid, terutama yang mengalami gangguan membaca (*reading disorders*). Pada murid yang mengalami disleksia, proses pembelajaran biasanya hanya berada di tingkat pengetahuan saja, belum sampai tahapan lebih lanjut/menganalisis. Murid berjuang untuk menghubungkan materi yang dipelajari. Banyak di antara mereka yang mengalami kesulitan memahami konsep serta menghubungkan konsep baru dengan pengetahuan sebelumnya, sehingga muncul tantangan dalam pembentukan hubungan logika. Murid mengalami kesulitan pengenalan kata, tidak dapat membaca dengan lancar, sering salah mengeja, serta kesulitan pemahaman bacaan (Shad et al., 2023).

### **Kesimpulan**

Memaksimalkan peran neurosains dalam proses belajar akan meningkatkan hasil pembelajaran yang dicapai. Beberapa sirkuit otak yang berperan penting untuk pembentukan memori yaitu amygdala, cortex prefrontal, dan hippocampus. Amygdala penting untuk pemrosesan emosi serta berinteraksi dengan struktur lainnya seperti hipotalamus dan batang otak. Hippocampus terkait dengan navigasi spasial dan memori kontekstual.

**Daftar Pustaka**

- Amin, M. S. (2018). Perbedaan Struktur Otak dan Perilaku Belajar Antara Pria dan Wanita; Eksplanasi dalam Sudut Pandang Neuro Sains dan Filsafat. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 1(1), 38–43.
- Battaglia, S., Avenanti, A., & Tanaka, M. (2024). Neural Correlates and Molecular Mechanisms of Memory and Learning. *International Journal of Molecular Sciences*, 25, 1–11.
- Bevandic, J., Chareyon, L. J., Bachevalier, J., Cacucci, F., Genzel, L., Newcombe, N. S., & Vargha-khadem, F. (2024). Episodic memory development: Bridging animal and human research. *Neuron*, 112, 1060–1080. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2024.01.020>
- Botvinick, M., Ritter, S., Wang, J. X., Kurth-nelson, Z., Blundell, C., & Hassabis, D. (2019). Reinforcement Learning, Fast and Slow. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(5), 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.02.006>
- Carretero-guillén, A., Treviño, M., Gómez-climent, M. Á., Dogbevia, G. K., Bertocchi, I., Spreng, R., Larkum, M. E., Vlachos, A., Gruart, A., Delgado-García, J. M., & Hasan, M. T. (2024). Dentate gyrus is needed for memory retrieval. *Molecular Psychiatry*, March 2023, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41380-024-02546-0>
- Chen, Q., Zhang, Z., Yang, H., Rooks, B., Tadin, D., Heffner, K. L., Anthony, M., & Lin, F. V. (2020). Autonomic flexibility reflects learning and associated neuroplasticity in old age. *Human Brain Mapp.*, 41(April), 3608–3619. <https://doi.org/10.1002/hbm.25034>
- Chiu, Y., & Egner, T. (2020). Cortical and subcortical contributions to context-control learning. *Neurosci Biobehav Rev.*, 99, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.01.019>
- Concina, G., Milano, L., Renna, A., Manassero, E., Stabile, F., Sacchetti, B., Concina, G., Milano, L., Renna, A., Manassero, E., & Stabile, F. (2024). Hippocampus-to-amygdala pathway drives the separation of remote memories of related events. *CellReports*, 43(5), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.114151>
- Crossley, M., Benjamin, P. R., Kemenes, G., Staras, K., & Kemenes, I. (2023). A circuit mechanism linking past and future learning through shifts in perception. *Neuroscience*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.1126/sciadv.add3403>
- Jan, D., Czajka, A., Zieli, J., Jaroszy, J., Furtak-niczyporuk, M., Mela, A., Poniatowski, Ł. A., Barcikowska-kotowicz, M., & Ziemba, A. (2019). Brain Functional Reserve in the Context of Neuroplasticity after Stroke. *Neural Plasticity*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/9708905>
- Jovasevic, V., Wood, E. M., Cicvaric, A., Zhang, H., Petrovic, Z., Carboncino, A., Parker, K. K., Bassett, T. E., Moltesen, M., Yamawaki, N., Login, H., Kalucka, J., & Sananbenesi, F. (2024). Formation of memory assemblies through the DNA-sensing TLR9 pathway. *Nature*, 628(April), 145–176. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07220-7>
- Kaczmarek, B. L. J. (2020). Current Views on Neuroplasticity: What is New and What is Old? *Acta Neuropsychologica*, 18(1), 1–14.
- Liloia, D., Crocetta, A., Cauda, F., Duca, S., Costa, T., & Manuello, J. (2022). Seeking Overlapping Neuroanatomical Alterations between Dyslexia and Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A Meta-Analytic Replication Study. *Brain Sciences*, 12, 1–21.
- Mateos-aporicio, P., & Rodríguez-moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Frontiers in Neuroscience*, 13(February), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00066>
- Nani, A., Manuello, J., Mancuso, L., Liloia, D., Costa, T., Vercelli, A., Duca, S., & Cauda, F. (2021). The pathoconnectivity network analysis of the insular cortex : A morphometric fingerprinting. *NeuroImage*, 225, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117481>
- Nobre, A. C. (2022). Opening Questions in Visual Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 35(1), 49–59.

- Nobre, A. C., & Stokes, M. G. (2019). Premembering Experience: A Hierarchy of Time-Scales for Proactive Attention. *Neuron*, *104*(1), 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.08.030>
- Passiatore, R., Antonucci, L. A., Bierstedt, S., Saranathan, M., Bertolino, A., Suchan, B., & Pergola, G. (2021). How recent learning shapes the brain: Memory-dependent functional reconfiguration of brain circuits. *NeuroImage*, *245*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118636>
- Pavarini, G., Booyesen, C., Jain, T., Lai, J., Manku, K., Foster-estwick, A., Gatera, G., Omari, D., Karorero, D., Philip-joe, K., Genevive, C., Sartor, C., Zeitz, L., Farmer, M., D, M., Singh, I., & Ph, D. (2021). Agents of Change for Mental Health: A Survey of Young People ’ s Aspirations for Participation Across Five Low- and Middle-Income Countries. *Journal of Adolescent Health*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2021.10.037>
- Petersen, S. E., Seitzman, B. A., Nelson, S. M., Wig, G. S., & Gordon, E. M. (2024). Principles of cortical areas and their implications for neuroimaging. *Neuron*, *10*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2024.05.008>
- Shad, N. G., Tavakolizadeh, J., Dastjerdi, R., & Taheri, H. (2023). Comparing the effectiveness of brain-based learning training and self-regulation training on the executive functions of students with learning disabilities in reading. *Adolescent and Youth Psychological Studies*, *4*(10), 44–53.
- Sherman, B. E., Turk-browne, N. B., & Goldfarb, E. V. (2024). Multiple Memory Subsystems: Reconsidering Memory in the Mind and Brain. *Perspectives on PSychological Science*, *19*(1), 103–125. <https://doi.org/10.1177/17456916231179146>
- Tahmasian, M., Samea, F., Khazaie, H., Zarei, M., Masouleh, S. K., Hoffstaedter, F., Camilleri, J., Kochunov, P., Yeo, B. T. T., & Eickhoff, S. B. (2020). The interrelation of sleep and mental and physical health is anchored in grey-matter neuroanatomy and under genetic control. *Communications Biology*, *3*, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0892-6>
- Tanaka, M., Diano, M., & Battaglia, S. (2023). Insights into structural and functional organization of the brain: evidence from neuroimaging and non-invasive brain stimulation techniques. *Frontiers in Psychiatry*, *14*, 1–4.
- Terada, S., Geiller, T., Liao, Z., Hare, J. O., Vancura, B., & Losonczy, A. (2023). Adaptive stimulus selection for consolidation in the hippocampus. *Nature*, *601*(7892), 240–244. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04118-6>. Adaptive
- Terranova, J. I., Yokose, J., Osanai, H., Marks, W. D., Yamamoto, J., Ogawa, S. K., & Kitamura, T. (2022). Hippocampal-amygdala memory circuits govern experience-dependent observational fear. *Neuron*, *110*(8), 1416–1431. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.01.019>
- Volnova, A., Kurzina, N., Belskaya, A., Gromova, A., Pelevin, A., Ptukha, M., Fesenko, Z., Ignashchenkova, A., & Gainetdinov, R. R. (2023). Noradrenergic Modulation of Learned and Innate Behaviors in Dopamine Transporter Knockout Rats by Guanfacine. *Biomedicines*, *11*, 1–19.
- Wen, Z., Pace-schott, E. F., Lazar, S. W., Åhs, F., Phelps, E. A., & Ledoux, J. E. (2024). Distributed neural representations of conditioned threat in the human brain. *Nature Communications*, *15*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46508-0>