

PENGARUH OLAHRAGA AEROBIK TERHADAP MEMORI TIKUS YANG DIINDUKSI KEBISINGAN

Rahmi^{1*}, Yulia Fauziyah², Sharlini Desfika Nasution³

^{1,2,3}Bagian Fisiologi Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

[*Email Korespondensi: rahmi@umsu.ac.id]

Abstract: The Effect of Aerobic Exercise on Memory in Noise-Induced Rats.

Noise is one of the environmental pollutants that can elevate stress hormones, thereby triggering inflammation and oxidative stress pathways that disrupt neuronal function. These effects can impair learning and memory. Exercise, particularly aerobic exercise, has been shown to enhance spatial memory function and induce hippocampal plasticity by reducing inflammation and oxidative stress. This research aimed to analyze the effect of aerobic exercise on the memory of rats exposed to noise. This was an experimental study with two groups, each consisting of five rats. Both groups were exposed to noise for 14 days. Afterwards, Group 1 received no exercise, while Group 2 underwent treadmill exercise for 4 weeks. Memory function was assessed using a Y-maze by calculating spontaneous alternation. The results showed a significant difference in spontaneous alternation before and after noise exposure ($p < 0.001$). The mean spontaneous alternation between the two groups also differed significantly ($p < 0.05$). In conclusion, aerobic exercise may increase memory function in noise-induced rats

Keywords: Rats, Noise, Exercise, Memory

Abstrak: Pengaruh Olahraga Aerobik Terhadap Memori Tikus Yang Diinduksi Kebisingan.

Kebisingan merupakan salah satu polusi lingkungan yang dapat meningkatkan hormon stres, sehingga dapat mencetuskan inflamasi dan jalur stres oksidatif sehingga mengganggu kerja sel saraf. Hal tersebut dapat menurunkan kemampuan belajar dan memori. Olahraga, terutama olahraga aerobik dapat meningkatkan fungsi memori spasial dan induksi plastisitas hipokampus dengan menurunkan proses inflamasi dan stres oksidatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai pengaruh olahraga aerobik terhadap memori tikus yang diinduksi kebisingan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan sampel penelitian sebanyak 2 kelompok dengan tiap kelompok terdiri dari 5 tikus. Kedua kelompok dipaparkan kebisingan selama 14 hari. Setelah itu, kelompok 1 tidak diberikan olahraga, dan kelompok 2 diberikan olahraga treadmill selama 4 minggu. Fungsi memori tikus dinilai dengan menggunakan maze Y dengan menghitung *spontaneous alternation*. Hasil yang diperoleh bahwa terdapat perbedaan rerata *spontaneous alternation* sebelum dan sesudah kebisingan ($p < 0.001$). Rerata *spontaneous alternation* kedua kelompok mengalami perbedaan signifikan ($p < 0.05$). Kesimpulan penelitian yaitu olahraga aerobik dapat meningkatkan fungsi memori tikus setelah diinduksi kebisingan.

Kata Kunci: Tikus, Kebisingan, Olahraga, Memori

PENDAHULUAN

Kebisingan merupakan salah satu polusi lingkungan yang semakin dikenali. Selain mempengaruhi sistem auditori, paparan kebisingan menyebabkan gangguan kesehatan dan stres mental. Menurut *World Health Organization* (WHO), paparan kebisingan lalu lintas

bertanggung jawab terhadap lebih dari 1,5 juta kesehatan per tahun pada Eropa Barat saja, termasuk masalah kognitif dan gangguan tidur. Paparan kebisingan lalu lintas dapat meningkatkan hormon stres, sehingga dapat mencetuskan inflamasi dan jalur stres oksidatif

sehingga mengganggu kerja sel saraf yang sangat sensitive terhadap radikal bebas (Hahad et al., 2019, 2025).

Stres oksidatif berkepanjangan dapat menurunkan kemampuan belajar dan memori. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kebisingan menginduksi defisit memori di hipokampus dan menurunkan lapisan-lapisan hipokampus (Azman et al., 2016). Paparan kebisingan juga dapat menekan *long term potentiation* (LTP) di hipokampus. Proses tersebut berperan penting dalam pembentukan memori (Zhang et al., 2021).

Olahraga, terutama olahraga aerobik, memiliki efek neuroprotektif pada otak. Olahraga juga meningkatkan fungsi memori spasial dan induksi plastisitas hipokampus dengan menurunkan proses inflamasi dan stres oksidatif (Yolanda et al., 2020). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa olahraga aerobik dapat meningkatkan fungsi dan struktur hipokampus, serta pada level seluler, olahraga dapat meningkatkan plastisitas sinaps, proliferasi dan ketahanan sel (Aghjayan et al., 2022). Olahraga merupakan kegiatan yang dapat dilakukan dengan berbagai metode dan tanpa alat, sehingga mudah dilakukan. Namun, sempat saat ini olahraga belum banyak diimplementasikan dalam pencegahan dan penatalaksanaan penyakit. Oleh karena itu, penelitian bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh olahraga aerobik terhadap memori tikus yang diinduksi kebisingan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan sampel penelitian berupa tikus jantan galur SD umur 10-12 minggu dengan berat 180-220 gram di Laboratorium Terpadu FK UMSU. Persetujuan etik penelitian ini berasal dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan FK UMSU dengan nomor 1421/KEPK/FKUMSU/2024.

Hewan coba dipilih secara acak sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Hewan coba diaklimatisasi lebih dahulu selama empat belas hari dalam ruangan pemeliharaan

berventilasi cukup, suhu ruangan 21°C, dengan pengaturan terang gelap 12:12, dan pemberian pakan dan minuman secara *ad libitum*. Tikus ditempatkan dalam kandang dengan ukuran 20 x 30 cm dengan dinding plastik yang diberi sekam di dalam kandangnya. Sekam diganti setiap hari. Atap kandang dilapisi kawat terbuka dengan celah yang bebas untuk bernafas.

Penelitian ini menggunakan 10 ekor tikus yang dibagi menjadi 2 kelompok. Kedua kelompok dipaparkan kebisingan selama 2 minggu. Setelah itu, kelompok 1 tidak diberikan olahraga sedangkan kelompok 2 merupakan tikus yang diberikan olahraga. Sebelum intervensi olahraga, tikus dilatih menggunakan *treadmill* mulai dari kecepatan terkecil, hingga mencapai kecepatan yang diinginkan selama 7 hari. Olahraga pada tikus menggunakan *treadmill* tikus dengan intensitas rendah (kecepatan 15 m/menit). Olahraga dilakukan 3 kali seminggu dengan durasi 30 menit, selama 4 minggu.

Paparan kebisingan dilakukan dengan menggunakan speaker dengan intensitas suara diukur dengan menggunakan aplikasi *sound meter*. Paparan kebisingan diberikan dengan intensitas 75dB 4 jam per hari selama 14 hari. Setelah 14 hari, dilakukan penilaian memori tikus, menggunakan *maze Y*. *Maze Y* terdiri dari tiga lengan labirin yang simetris dengan sudut 120 diantara dua lengan. Labirin berwarna hitam dan berukuran panjang 40x8x15 cm untuk mengurangi ansietas, intensitas cahaya ruangan dikurangi saat pemeriksaan.

Tes terdiri dari 2 tahap. Tahap pertama tikus diletakkan pada labirin selama 5 menit dengan lengan labirin yang ketiga ditutup. Pada tahap kedua, tikus diletakkan selama 5 menit dengan lengan labirin yang ketiga dibuka. Jarak antara kedua tahap adalah 30 menit (Yolanda et al., 2020). Parameter yang dinilai adalah *spontaneous alternans*. *Spontaneous alternans* adalah pola masuknya tikus ke dalam tiga lengan yang berbeda secara berurutan (tanpa pengulangan lengan dalam tiga entri berturut-turut). Rumusnya adalah sebagai berikut (Miedel et al., 2017) :

$$\text{Spontaneous alternation \%} = \frac{\# \text{ spontaneous}}{\text{total number of}}$$

Data dalam penelitian ini dianalisis menggunakan *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Uji statistik yang digunakan meliputi uji t berpasangan (*dependent*) dan uji t tidak berpasangan (*independent*).

HASIL

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh olahraga aerobik terhadap memori tikus yang diinduksi kebisingan. Pada awalnya, kedua kelompok tikus dipaparkan kebisingan selama 14 hari, kemudian dinilai memori sebelum dan sesudah paparan kebisingan (tabel 1). Memori tikus dinilai dengan rerata *spontaneous alternation*.

Tabel 1. Rerata Spontaneous Alternans Sebelum dan Sesudah dipaparkan Kebisingan

Kelompok	Rerata %Spontaneous Alternans		p*
	Sebelum (X±SD)	Sesudah (X±SD)	
K1	66,06 ± 10,88	53,42 ± 19,03	<0.001
K2	66,02 ± 14,86	51,3 4 ± 15,22	

*Uji T Dependen

Pada tabel 1 menunjukkan rerata *spontaneous alternation* tikus pada saat sebelum dan sesudah paparan kebisingan. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa rerata *spontaneous alternation* kedua kelompok sebelum paparan kebisingan hampir sama. Dan setelah dipaparkan kebisingan selama 14 hari, kedua kelompok tikus

mengalami penurunan rerata *spontaneous alternation*.

Setelah itu, tikus K1 tidak diberikan olahraga, sedangkan tikus K2 diberikan olahraga selama 4 minggu dengan menggunakan treadmill kecepatan rendah dan dinilai memori kedua kelompok tersebut (tabel 2).

Tabel 2. Rerata Spontaneous Alternans pada K1 dan K2

Kelompok	X±SD	p*
K1	45,02 ± 11,68	0.031
K2	61,56 ± 7,92	

*Uji T Independen

Pada tabel 2 menunjukkan perbandingan rerata *spontaneous alternation* antara kelompok yang tidak diberikan olahraga dan kelompok yang diberikan olahraga. Tikus kelompok 2 yang diberikan olahraga mengalami peningkatan rerata *spontaneous alternation*. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa rerata *spontaneous alternation* kedua kelompok mengalami perbedaan signifikan ($p < 0.05$).

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini tikus diberikan stres berupa kebisingan 75 dB selama 14 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan *spontaneous alternans* pada saat sebelum dan sesudah paparan kebisingan. Setelah dipaparkan kebisingan, tikus mengalami

penurunan rerata *spontaneous alternans*. *Spontaneous alternans* merupakan metode yang sering digunakan untuk mengevaluasi memori jangka pendek pada tikus, dengan cara mengukur kemampuan memori kerja spasial. Tugas *maze* ini adalah untuk menguji navigasi spasial atau disebut juga sebagai *wayfinding*, yaitu kemampuan untuk mengkode posisi diri di dalam ruang relatif terhadap penanda-penanda lingkungan, guna membangun peta mental untuk menemukan arah dalam suatu area. Dalam tes ini, tikus dibiarkan menjelajahi ketiga lengan *maze* dan secara alami akan menunjukkan kecenderungan untuk memasuki lengan yang belum dikunjungi sebelumnya, didorong oleh rasa ingin tahu bawaan. Tikus dengan memori kerja yang utuh, akan menghindari

lengan yang baru saja dikunjungi dan lebih memilih lengan yang belum atau kurang baru dikunjungi. Namun, pada tikus dengan gangguan memori kerja akan menghabiskan waktu terlalu lama di satu lengan, mereka cenderung melupakan lengan mana yang telah dikunjungi sebelumnya (Kim et al., 2023; Kraeuter et al., 2019; Voss et al., 2019).

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Zhang et al., dengan paparan kebisingan sebesar 65dB pada anak tikus secara kronis secara signifikan dapat menurunkan kemampuan pembelajaran, memori, dan menurunkan induksi *long term potentiation* (LTP) di hipokampus (Zhang et al., 2021). Hipokampus berperan penting dalam navigasi spasial, memori, dan emosi. Pengkodean memori terjadi di hipokampus, sementara proses pengambilan kembali (*retrieval*) melibatkan berbagai wilayah otak, termasuk hipokampus, korteks parietal, dan korteks prefrontal. Di dalam hipokampus terdapat *place cells*, yaitu sel yang merespons ketika subjek berada di lokasi tertentu dalam lingkungan. Hipokampus mengintegrasikan informasi dari berbagai sistem sensorik, termasuk sistem pendengaran, untuk membentuk peta kognitif spasial yang membantu dalam navigasi (Déry et al., 2013; Herting & Nagel, 2012; Manohar et al., 2022).

Meskipun hipokampus tidak termasuk dalam jalur auditori klasik, struktur ini tetap menerima input akustik yang dapat memengaruhi aktivitasnya. Hipokampus dikenal sangat rentan terhadap berbagai bentuk trauma, termasuk stres kronis. (Manohar et al., 2022) Kebisingan merupakan salah satu stimulus lingkungan yang bersifat stresogenik dan dapat mengganggu fungsi kognitif, termasuk memori. Penelitian oleh Azman et al. (2016) menunjukkan bahwa stres akibat paparan kebisingan dapat secara signifikan meningkatkan kadar serum kortisol dan ACTH, yang mengindikasikan keterlibatan aksis hipotalamus-hipofisis-adrenal (HPA)

dalam respons terhadap kebisingan (Azman et al., 2016).

Studi lain oleh Hayes et al. (2019) mengungkapkan bahwa reaktivitas aksis HPA dapat berubah dari waktu ke waktu setelah trauma akustik. Peningkatan signifikan pelepasan kortikosteron pada tikus satu minggu setelah paparan kebisingan menunjukkan bahwa hiperaktivitas aksis HPA dapat bertahan bahkan setelah paparan berakhir (Hayes et al., 2019).

Kerentanan hipokampus terhadap stres berkaitan dengan tingginya kepadatan reseptor glukokortikoid di wilayah ini. Peningkatan kadar kortikosteron dapat menekan proses neurogenesis dengan mengganggu kelangsungan hidup sel, serta menyebabkan atrofi dendrit pada neuron piramidal. Paparan suara keras secara akut juga dapat mengacaukan pola firing neuron hipokampus yang spesifik terhadap lokasi, sehingga mengganggu representasi spasial selama beberapa hari. Dalam jangka panjang, stres kronis dapat menghambat neurogenesis dan menyebabkan penyusutan volume hipokampus. Selain itu, stres kronis diketahui menurunkan kadar *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF), yang berperan penting dalam stabilisasi dendrit, serta menurunkan kadar neurotransmitter seperti dopamin dan ekspresi reseptor AMPA. Penurunan ekspresi reseptor ini dapat mengganggu aktivasi jalur pensinyalan seluler yang berperan dalam memfasilitasi *long-term potentiation* (LTP) (Loprinzi & Frith, 2019; Manohar et al., 2022).

Dalam penelitian ini, setelah kedua kelompok tikus dipaparkan pada kebisingan, salah satu kelompok menerima intervensi berupa olahraga selama empat minggu. Hasilnya menunjukkan adanya perbedaan nilai *spontaneous alternans* antara kedua kelompok, di mana kelompok yang menjalani olahraga mengalami peningkatan nilai *spontaneous alternans*, yang mengindikasikan perbaikan fungsi memori.

Latihan lari menggunakan treadmill pada tikus diketahui dapat

mengurangi defisit kognitif yang disebabkan oleh berbagai bentuk kerusakan otak. Efek protektif ini diperoleh melalui peningkatan fungsi neuron, pencegahan kehilangan neuron, serta peningkatan neurogenesis, *long-term potentiation* (LTP), dan plastisitas sinaptik (Jahangiri et al., 2019; Voss et al., 2019).

Temuan tersebut sejalan dengan studi Van Praag et al. (2005), yang menunjukkan bahwa latihan fisik dapat meningkatkan neurogenesis di area hipokampus, bahkan pada tikus tua (Van Praag et al., 2005). Dalam penelitian ini, olahraga yang diberikan menggunakan intensitas rendah. Penelitian oleh Shen et al. (2013) menunjukkan bahwa olahraga dengan intensitas rendah dapat meningkatkan kadar BDNF di hipokampus tikus. Hasil ini juga didukung oleh studi Pietrelli et al. (2018), yang melaporkan bahwa latihan aerobik berintensitas rendah hingga sedang, jika dilakukan secara teratur sejak usia dini, dapat meningkatkan kadar dan ekspresi komponen utama dari sistem BDNF-5-HT (Pietrelli et al., 2018).

Olahraga berperan penting dalam menurunkan dampak stres kronis terhadap memori. Beberapa mekanisme yang terlibat meliputi penekanan aktivitas aksis hipotalamus-hipofisis-adrenal, pengurangan stres oksidatif, peningkatan neurogenesis, serta regulasi ekspresi reseptor mineralokortikoid dan glukokortikoid (Loprinzi & Frith, 2019).

Perubahan kadar kortisol yang terjadi akibat aktivitas fisik turut memengaruhi eksitabilitas neuron. Kortisol sendiri memiliki peran yang kompleks dalam proses belajar dan memori. Pengaruhnya sangat bergantung pada tingkat konsentrasi hormon tersebut: dalam kadar sedang, kortisol dapat memperkuat memori dan mendukung mekanisme *long-term potentiation* (LTP), namun jika melebihi ambang tertentu, justru dapat

mengganggu fungsi memori (Basso & Suzuki, 2016; Loprinzi & Frith, 2019). Selain itu, selama latihan aerobik, glukosa dipecah menjadi laktat melalui glikolisis. Laktat ini dapat melintasi sawar darah-otak, diproduksi oleh astrosit, dan digunakan neuron sebagai sumber energi alternatif. Laktat berperan penting dalam mendukung memori, LTP, dan plastisitas sinaptik, termasuk memori spasial yang diukur melalui tes *spontaneous alternation*. Proses ini melibatkan glikogenolisis astrosit dan transfer laktat ke neuron (Basso & Suzuki, 2016)(Suzuki et al., 2011) (Newman et al., 2011). (Yang et al., 2014).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa paparan kebisingan dengan intensitas 75 dB selama 14 hari dapat menurunkan fungsi memori tikus, yang ditunjukkan dengan penurunan nilai *spontaneous alternation* pada tes Y-maze. Pemberian olahraga aerobik berupa treadmill selama empat minggu mampu memperbaiki fungsi memori tersebut secara signifikan. Hal ini mendukung peran olahraga aerobik sebagai salah satu alternatif terapi yang efektif dalam mengurangi dampak negatif stres akibat kebisingan terhadap fungsi kognitif, khususnya memori kerja spasial. Keterbatasan penelitian ini adalah hanya menggunakan satu model latihan dan tidak dilakukan pemeriksaan kadar BDNF maupun histologi dari hipokampus. Penelitian ini juga hanya menggunakan satu metode penilaian fungsi kognitif, yaitu *maze* Y. Diharapkan pada penelitian berikutnya melakukan pemeriksaan kimia dan histopatologi terkait fungsi memori, dan dilakukan variasi durasi dan intensitas olahraga. Selain itu, perlu dilakukan pengamatan jangka panjang untuk mengetahui apakah efek protektif olahraga terhadap memori bersifat sementara atau berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghjayan, S. L., Bournias, T., Kang, C., Zhou, X., Stillman, C. M., Donofry, S. D., Kamarck, T. W., Marsland, A. L., Voss, M. W., Fraundorf, S. H., & Erickson, K. I. (2022). Aerobic exercise improves episodic memory in late adulthood: a systematic review and meta-analysis. *Communications Medicine*, 2(15): 1-11
- Azman, K. F., Zakaria, R., Abdul Aziz, C. B., & Othman, Z. (2016). Tualang Honey Attenuates Noise Stress-Induced Memory Deficits in Aged Rats. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016(1): 1-11
- Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2016). The Effects of Acute Exercise on Mood, Cognition, Neurophysiology, and Neurochemical Pathways: A Review. *Brain Plasticity*, 2(2), 127-152.
- Déry, N., Pilgrim, M., Gibala, M., Gillen, J., Martin Wojtowicz, J., MacQueen, G., & Becker, S. (2013). Adult hippocampal neurogenesis reduces memory interference in humans: Opposing effects of aerobic exercise and depression. *Frontiers in Neuroscience*, 7 APR.
- Hahad, O., Kuntic, M., Al-Kindi, S., Kuntic, I., Gilan, D., Petrowski, K., Daiber, A., & Münzel, T. (2025). Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 35(1): 16-23
- Hahad, O., Prochaska, J. H., Daiber, A., & Muenzel, T. (2019). Environmental Noise-Induced Effects on Stress Hormones, Oxidative Stress, and Vascular Dysfunction: Key Factors in the Relationship between Cerebrocardiovascular and Psychological Disorders. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019: 1-11
- Hayes, S. H., Manohar, S., Majumdar, A., Allman, B. L., & Salvi, R. (2019). Noise-induced hearing loss alters hippocampal glucocorticoid receptor expression in rats. *Hearing Research*, 379: 43-51.
- Herting, M. M., & Nagel, B. J. (2012). Aerobic fitness relates to learning on a virtual Morris Water Task and hippocampal volume in adolescents. *Behavioural Brain Research*, 233(2), 517-525.
- Jahangiri, Z., Gholamnezhad, Z., & Hosseini, M. (2019). The effects of exercise on hippocampal inflammatory cytokine levels, brain oxidative stress markers and memory impairments induced by lipopolysaccharide in rats. *Metabolic Brain Disease*, 34(4): 1157-1169.
- Kim, J., Kang, H., Lee, Y. B., Lee, B., & Lee, D. (2023). A quantitative analysis of spontaneous alternation behaviors on a Y-maze reveals adverse effects of acute social isolation on spatial working memory. *Scientific Reports*, 13(14722):1-11
- Kraeuter, A. K., Guest, P. C., & Sarnyai, Z. (2019). The Y-Maze for Assessment of Spatial Working and Reference Memory in Mice. *Methods in Molecular Biology*, 1916: 105-111
- Loprinzi, P. D., & Frith, E. (2019). Protective and therapeutic effects of exercise on stress-induced memory impairment. *Journal of Physiological Sciences*, 69:-12
- Manohar, S., Chen, G. Di, Ding, D., Liu, L., Wang, J., Chen, Y. C., Chen, L., & Salvi, R. (2022). Unexpected Consequences of Noise-Induced Hearing Loss: Impaired Hippocampal Neurogenesis, Memory, and Stress. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 16: 871223
- Miedel, C. J., Patton, J. M., Miedel, A. N., Miedel, E. S., & Levenson, J. M. (2017). Assessment of spontaneous alternation, novel object recognition and limb claspings in transgenic mouse models of amyloid- β and tau neuropathology. *Journal of Visualized Experiments*, 123: e55523

- Newman, L. A., Korol, D. L., & Gold, P. E. (2011). Lactate produced by glycogenolysis in astrocytes regulates memory processing. *PLoS ONE*, 6(12).
- Pietrelli, A., Matković, L., Vacotto, M., Lopez-Costa, J. J., Basso, N., & Brusco, A. (2018). Aerobic exercise upregulates the BDNF-Serotonin systems and improves the cognitive function in rats. *Neurobiology of Learning and Memory*, 155: 528–542.
- Shen, X., Li, A., Zhang, Y., Dong, X., Shan, T., Wu, Y., Jia, J., & Hu, Y. (2013). The Effect of Different Intensities of Treadmill Exercise on Cognitive Function Deficit Following a Severe Controlled Cortical Impact in Rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(11), 21598–21612.
- Suzuki, A., Stern, S. A., Bozdagi, O., Huntley, G. W., Walker, R. H., Magistretti, P. J., & Alberini, C. M. (2011). Astrocyte-neuron lactate transport is required for long-term memory formation. *Cell*, 144(5): 810–823.
- Van Praag, H., Shubert, T., Zhao, C., & Gage, F. H. (2005). Exercise enhances learning and hippocampal neurogenesis in aged mice. *Journal of Neuroscience*, 25(38): 8680–8685.
- Voss, M. W., Soto, C., Yoo, S., Sodoma, M., Vivar, C., & van Praag, H. (2019). Exercise and Hippocampal Memory Systems. In *Trends in Cognitive Sciences*. 23(4): 318–333
- Yang, J., Ruchti, E., Petit, J. M., Jourdain, P., Grenningloh, G., Allaman, I., & Magistretti, P. J. (2014). Lactate promotes plasticity gene expression by potentiating NMDA signaling in neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(33): 12228–12233.
- Yolanda, S., Pamungkas, G. C., Andraini, T., Santoso, D. I. S., Sidik, S. B., & Widhowati, L. N. (2020). Effect of aerobic exercise on short-and long-term memory in adult male wistar rats. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 12(Special Issue 3), 15–18.
- Zhang, Y., Zhu, M., Sun, Y., Tang, B., Zhang, G., An, P., Cheng, Y., Shan, Y., Merzenich, M., & Zhou, X. (2021). Environmental noise degrades hippocampus-related learning and memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 7;118(1):e2017841117