

PERAN HORMON SEROTONIN DALAM FUNGSI MEMORI: SEBUAH STUDI LITERATUR

Fika Tri Anggraini

Fakultas Kedokteran, Universitas Andalas
fikatrianggraini@med.unand.ac.id

ABSTRACT

Memory function is becoming an interesting health problem because it includes cognitive-related impairments that are becoming health problems in the community. The hormone serotonin is synthesized in serotonergic neurons in the central nervous system and has cognitive functions including memory. The hormone serotonin (5-hydroxytryptamine / 5-HT) regulates mood, pain, sleep cycles to memory. Objective: review and discuss the hormone serotonin in memory function. using literature review research studies for 2019-2023 that have been published in electronic media such as Science direct, ProQuest, CINAHL, Pubmed, and google scholar. The number of Randomized controlled trials (RCTs) research articles obtained was 8 articles that met the criteria. The subject of the study was the hormone serotonin. Research results obtained that the role of the hormone serotonin is very important in memory function, low serotonin levels result in weakness in storing memory Neurotransmitters in the hormone serotonin are either directly or indirectly involved in the process of memory storage, so it is important to increase serotonin levels in the body within normal limits.

Keywords : hormone serotonin, hydroxytryptamine, 5-HT, memory

ABSTRAK

Fungsi memori menjadi masalah kesehatan yang menarik karena termasuk gangguan kognitif yang berhubungan yang menjadi masalah kesehatan di masyarakat. Hormon serotonin disintesis di neuron serotonergis di sistem saraf pusat dan memiliki fungsi kognitif termasuk memori. Hormon serotonin (5-hidroksitriptamin/ 5-HT) mengatur suasana hati, rasa nyeri, siklus tidur hingga memori. Tujuan: meninjau dan membahas hormon serotonin dalam fungsi memori. menggunakan studi literature review penelitian tahun 2019-2023 yang sudah terpublikasi di media elektronik seperti Science direct, ProQuest, CINAHL, Pubmed, dan google scholar. Jumlah artikel penelitian *Randomized controlled trials (RCTs)* yang diperoleh terdapat 8 artikel yang memenuhi kriteria. Subjek penelitian adalah hormon serotonin. Hasil penelitian yang diperoleh bahwa peran hormon serotonin sangat penting dalam fungsi memori, kadar serotonin yang rendah mengakibatkan kelemahan dalam menyimpan memori. Neurotransmitter pada hormon serotonin baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam proses penyimpanan memori, sehingga penting agar dapat meningkatkan kadar serotonin dalam tubuh dalam batas nilai normal.

Kata kunci : hormon serotonin, hidoksitriptamin, 5-HT, memori

PENDAHULUAN

Hormon serotonin dikenal dengan 5-hydroxytryptamin atau 5-HT) merupakan senyawa kimia yang berfungsi sebagai *neurotransmitter* dari satu bagian otak ke bagian yang lain. Serotonin juga berperan penting untuk menyimpan memori. Hormon serotonin mempunyai fungsi untuk mengatur regulasi mood, rasa sakit, tidur, nafsu makan, kontraksi otot, perilaku seksual, regulasi jantung dan beberapa fungsi kognitif termasuk memori.

Serotonin disintesis di neuron-neuron serotonergis dalam sistem saraf pusat (Sengupta & Holmes, 2019; Ślifirski et al., 2021).

Reseptor serotonin/ serotonergik terlibat dalam beragam fungsi kognitif termasuk memori. Memori yang paling penting dalam kehidupan sehari-hari adalah ingatan deklaratif yang berisi informasi tentang pengalaman pribadi, fakta umum, dan peristiwa (Coray & Quednow, 2022; Forero et al., 2020; Pourhamzeh et al., 2022).

Reseptor serotonin dapat ditemukan di

seluruh bagian otak tergantung jenis reseptor yang diaktivasi oleh neurotransmitter, seperti depolarisasi neuron/ saraf secara langsung melalui aktivasi reseptor 5-HT, sehingga memungkinkan hormon serotonin dapat mempengaruhi daya ingat/ memori (Pourhamzeh et al., 2022; Wu et al., 2021).

Kelebihan atau kekurangan hormon serotonin juga berpengaruh terhadap memori. Kelebihan hormon serotonin memiliki efek terjadinya sindrom serotonin yang merupakan kumpulan dari gejala sehingga berpotensi mengancam jiwa akibat terlalu banyak kadar serotonin. Sebaliknya kekurangan hormon serotonin berdampak pada lemahnya kemampuan kognitif dan daya ingat, serta suasana hati menjadi tidak bahagia yang berefek pada munculnya penyakit jiwa (Bacqué-cazenave et al., 2020; Waider et al., 2019).

Penelitian hormon 5-HT terkait fungsi memori tidak hanya pada manusia, juga diteliti pada hewan. Serotonin pada hewan menunjukkan bahwa neurogenesis pada hipokampus berperan penting dalam

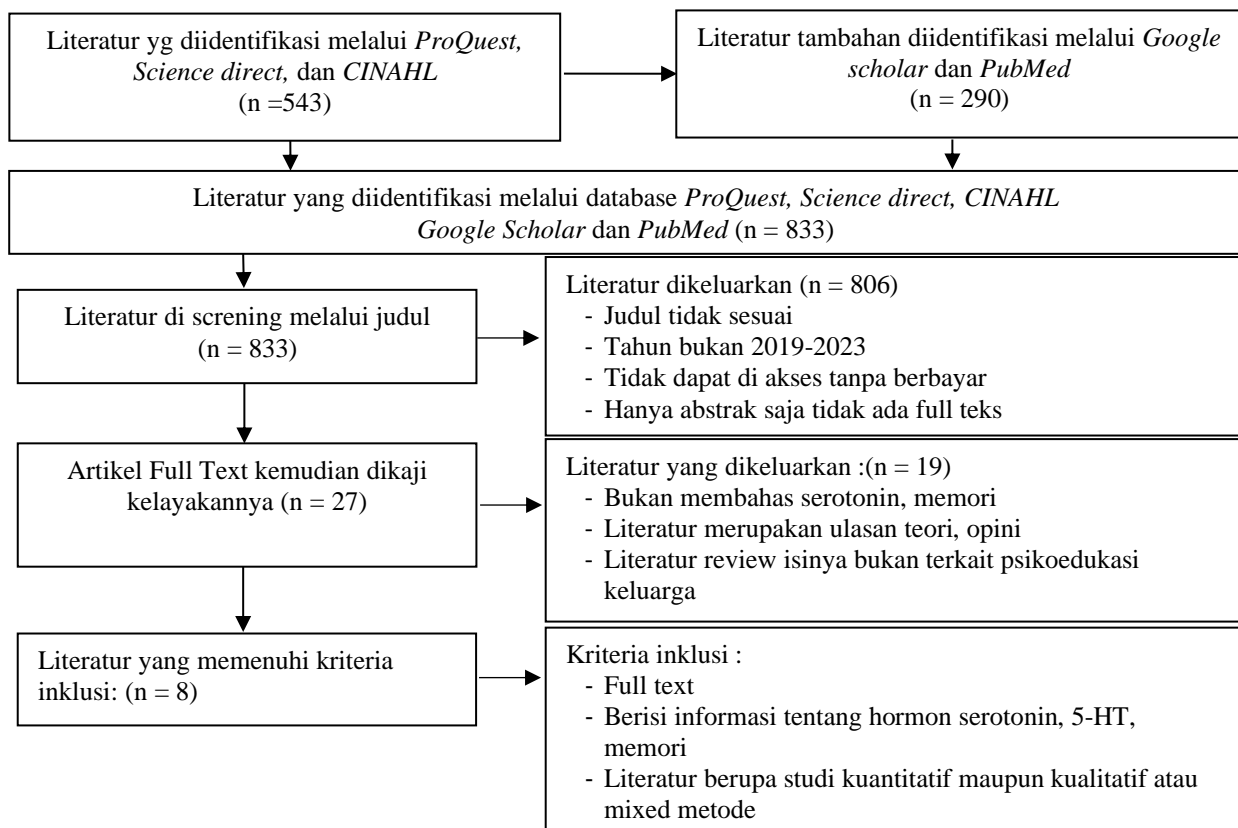
HASIL

kemampuan daya ingat/ memori (Sengupta & Holmes, 2019; Wu et al., 2021).

Memahami neurotransmisi serotonergik dan pengaruhnya terhadap memori tetap menjadi tantangan sampai hari ini. Sehingga peneliti tertarik melakukan studi literature review untuk mengidentifikasi peran hormon serotonin.

METODE

Metode yang digunakan yaitu menggunakan literature review dari hasil penelitian tahun 2019-2023 yang telah dipublikasi dalam media elektronik nasional maupun internasional. Pencarian artikel dengan kata kunci: hormon serotonin, hidrokstriptamin, 5-HT, dan memori yang di peroleh melalui media elektronik seperti ProQuest, Science direct, CINAHL, dan Pubmed. Penulis menyeleksi literatur dan melakukan review yang sesuai pokok bahasan. Penelitian ini mengumpulkan data yang berhubungan dengan serotonin dan memori.



Gambar 1. Flow Diagram Alur Proses Seleksi Literatur

Penulis mendapatkan 833 artikel yang diidentifikasi melalui lima database tersebut yang tertuang dalam metode penelitian dan di screening melalui judul. Artikel full text yang telah dikaji kelayakannya didapatkan berjumlah 27

artikel. Assesment yang dilakukan berdasarkan artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi didapatkan sejumlah 8 artikel yang dapat digunakan dalam literature review yang tertuang dalam Gambar 1.

Tabel 1. Hasil Analisis dan Sintesis Jurnal

No	Judul dan Penulis	Metode penelitian	Hasil
1.	Prenatal selective serotonin reuptake inhibitor (SSRI) exposure induces working memory and social recognition deficits by disrupting inhibitory synaptic networks in male mice (Yu et al., 2019)	<i>true experimental</i>	Fast-spiking interneurons di mPFC menunjukkan terdapat peningkatan rangsangan intrinsik dan rangsangan serotonin (5-HT) 2A reseptor (5-HT 2A R) yang diinduksi.
2.	Elevated anxiety, hypoactivity, memory deficits, decreases of brain serotonin and 5-HT-1A receptors expression in rats treated with omeprazole (Ali et al., 2021)	<i>true experimental pre post test with control group</i>	Tingkat 5-HT dan metabolit asam 5-hydroxyindoleacetic dan asam homovanillic, metabolit dopamin, ditentukan oleh HPLC-EC, menurun di otak tikus yang diobati dengan OM. Penggunaan Omeprazole (OM) dapat mengurangi neurotransmisi serotonin hippocampal raphe untuk menyebabkan kecemasan / depresi dan gangguan kognitif
3.	5-HT modulation of a medial septal circuit tunes social memory stability (Wu et al., 2021)	<i>randomized controlled trial</i>	Memberikan bukti bahwa 5-HT (serotonin) memiliki peran penting tidak hanya pada perilaku prososial, tetapi juga memori sosial, dengan mempengaruhi struktur target yang berbeda.
4.	Brain serotonin in high-fat diet-induced weight gain, anxiety and spatial memory in rats (Haleem & Mahmood, 2021)	<i>true experimental</i>	Serotonin bekerja melalui hipotalamus dan hippocampus terlibat dalam induksi (high-fat diet) HFD berat badan, kecemasan pengurangan dan modulasi kinerja kognitif. Konsumsi HFD menghasilkan peningkatan aktivitas eksplorasi dan pengurangan kecemasan. Ini meningkatkan akuisisi pembelajaran dan retensi memori tetapi gangguan memori.
5.	Serotonin (5-HT) neuron-specific inactivation of Cadherin-13 impacts 5-HT system formation and cognitive function (Forero et al., 2020)	<i>true experimental</i>	Tikus CDH13 cKO dewasa menunjukkan akuisisi tertunda dari beberapa tugas belajar dan fenotip impulsif dengan penurunan latensi karena defisit dalam memori visuospatial. Temuan kami lebih lanjut mendukung peran penting CDH13 dalam pengembangan sirkuit dorsal raphe 5-HT, suatu mekanisme yang dapat mendasari gambaran klinis spesifik yang diamati pada gangguan perkembangan saraf.

- | | | | |
|----|---|---|--|
| 6. | Serotonin deficiency increases context-dependent fear learning through modulation of hippocampal activity (Waider et al., 2019) | <i>true experimental</i> | Peningkatan memori ketakutan bergantung dari defisiensi 5-HT (serotonin) otak sehingga terjadi disfungsi sirkuit hippocampal yang mengendalikan respons perilaku terkait rasa takut. |
| 7. | Hubungan Antara Kadar Serotonin Serum dengan Fungsi Kognitif pada Pasien Nyeri Kepala Tipe Tegang Kronis (Primadona et al., 2020) | <i>analitik observasional dengan pendekatan cross sectional</i> | ada penelitian ini didapatkan 38 subjek yang mayoritas perempuan 30 subjek (78,9%) dan laki-laki 8 subjek (21,1%). Terdapat hubungan bermakna secara independen antara ansietas dengan fungsi kognitif pada chronic tension-type headache (CTTH). Tidak terdapat hubungan bermakna antara depresi dengan fungsi kognitif pada CTTH baik secara independen maupun bersama dengan faktor lain. Fungsi kognitif yang terganggu di CTTH sebagian besar terkait dengan memori (90%) dan domain eksekutif (70%). Diskusi: Tidak terdapat Perbedaan bermakna antara kadar serotonin serum normal dan abnormal dengan gangguan fungsi kognitif. Terdapat hubungan yang bermakna antara rendahnya kadar serotonin serum dengan ansietas pada pasien CTTH. Tidak terdapat hubungan antara rendahnya kadar serotonin serum dengan depresi pada pasien CTTH. Pasien CTTH mengalami gangguan kognitif paling banyak mengenai domain memori dan eksekutif. |
| 8. | Serotonin levels and cognitive recovery in patients with subacute stroke after rehabilitation treatment (Siotto et al., 2021) | <i>Pilot study</i> | Kadar serotonin dievaluasi pada 29 pasien dengan stroke sub-akut sebelum dan sesudah perawatan rehabilitasi (terdiri dari program rehabilitasi robotik ekstremitas atas selain perawatan terapi fisik konvensional). Penelitian menggunakan skala Beck Depression Inventory untuk mengevaluasi gejala depresi, dan alat khusus untuk mengevaluasi fungsi kognitif. Hasilnya menemukan penurunan kadar serotonin yang bermakna selepas rehabilitasi pada seluruh kumpulan (T0: 85.9 ± 92.4 ng / mL; T1: 61.9 ± 58.4 ng / mL; $p = 0,0018$), serta dalam subkelompok pasien yang tidak diobati dengan Selective Serotonin Reuptake Inhibitors (SRRI). |

PEMBAHASAN

Serotonin atau 5-HT (5-Hidroxytryptamine) merupakan penghantar signal syaraf (neurotransmitter) monoamino yang disintesa dalam neuron-neuron serotonergis di sistem syaraf pusat dan sel-sel enterochromaffin dalam saluran pencernaan. Serotonin memiliki senyawa dengan rumus kimia $C_2H_12N_2O$ ditemukan pada jenis tumbuhan, hewan, dan manusia

(Bacqué-cazenave et al., 2020; Coray & Quednow, 2022; Yu et al., 2019) . Kadar serotonin pada tumbuhan ditemukan pada kacang-kacangan seperti genus chickory/carya dan kenari (juglans) sebanyak 25-400 mg/kg. Kadar serotonin pada buah pisang, kiwi, tomat, nanas sekitar 3-30 mg/kg. Serotonin pada hewan termasuk serangga dan pada manusia ditemukan sebagai neurotransmitter. Serotonin pada manusia dilepaskan dari platelet darah

dengan konsentrasi tinggi ada pada jaringan tubuh sepertipaling banyak ada di mukosa usus sekitar 90% dan terdapat di sistem saraf pusat (Bacqué-cazenave et al., 2020; Coray & Quednow, 2022; Kanova & Kohout, 2021; Wu et al., 2021).

Neurotransmitter pada hormon serotonin (5-HT) bertansmisi di impulse saraf. Neurotransmitter merupakan pembawa pesan kimia dari dalam otak yang memberikan komunikasi antara sel-sel saraf. Reseptor serotonin diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok berdasarkan jalur transduksi signal interseluler yang diaktivasi yaitu: 5-HT₁, 5-HT₂, 5-HT₃, 5-HT₄, 5-HT₆, dan 5-HT₇ (John Jayakumar & Panicker, 2021; Kanova & Kohout, 2021). Vesicles/ gumpalan-gumpalan serotonin berikatan ke protein receptor di dalam sel postsynaptic, yang menimbulkan perubahan daya listrik sel, kemudian serotonin akan memberikan pesan kimia atau menghambatnya. Kelebihan molekul serotonin diambil kembali oleh sel presynaptic untuk diproses kembali (Coray & Quednow, 2022; Sengupta & Holmes, 2019).

Neuron-neuron yang ada di medulla dan otak bagian tengah tepatnya di bagian atas urat saraf tulang belakang adalah tempat mengeluarkan serotonin. Neuron-neuron serotonergic mempunyai axon yang beraktivitas pada bagian lain dari otak, sehingga efek yang muncul pada serotonin berbeda-beda (Bacqué-cazenave et al., 2020; Forero et al., 2020).

Hormon serotonin dikenal juga sebagai hormon bahagia yang mempunyai pengaruh pada suasana hati dan beberapa fungsi tubuh. Hormon ini dilepaskan mempengaruhi fungsi otak dan perilaku, termasuk juga kontrol aktivitas fisiologis, seperti tidur, respons stres, fungsi kardiovaskular dan endokrin, modulasi penghargaan, emosi, suasana hati, dan perilaku seperti kemarahan, agresi, nafsu makan, rasa sakit, seksualitas, serta proses neuropsikologis seperti persepsi, perhatian, dan memori (Ali et al., 2021; Bacqué-cazenave et al., 2020; John Jayakumar &

Panicker, 2021).

Pada beberapa hasil penelitian dengan *true experiment* yang dilakukan pada mamalia tikus didapatkan hasil bahwa tikus yang memiliki kadar serotonin yang rendah, dapat mempengaruhi dan menurunkan fungsi kognitif dan memori. Hal ini karena adanya peran penting dari neurogenesis pada hipokampus mamalia dewasa dimana peningkatan laju neurogenesis berbanding lurus dengan peningkatan fungsi kognitif, peningkatan kapasitas memori, serta penurunan interferensi antar memori (Bacqué-cazenave et al., 2020; Coray & Quednow, 2022; Forero et al., 2020)

Penelitian-penelitian serotonin pada manusia didapatkan bahwa proses memori melibatkan perubahan dari anatomi fisiologi neuron, seperti proses pelepasan neurotransmitter, penambahan sinaps yang baru, dan fasilitasi sinaps. Komunikasi dari neuron dan hubungan interaksi serotonin dengan reseptor khususnya. Aktivasi reseptor 5-HT₂ pada terminal akson kolinergik dan glutamatergik dapat meningkatkan pelepasan neurotransmitter asetilkolin dan glutamat. Glutamat berperan penting dalam pembentukan long-term potentiation/ LTP pada hipokampus. pembentukan LTP dalam jangka waktu yang panjang dapat menginduksi pembentukan sinaps baru, berpotensi mengaktivasi dan meningkatkan sintesis reseptor baru, sintesis protein, dan faktor pertumbuhan yang berperan dalam pembentukan sinaps tambahan. (Bostancıoğlu, 2020; Haleem & Mahmood, 2021; Vaseghi et al., 2022). Pembentukan sinaps baru merupakan implikasi terjadi peningkatan ekspresi reseptor glutamat pada membran sel. Penambahan jumlah reseptor dan sinaps kemudian berperan penting dalam mengoptimalkan komunikasi antarneuron pada proses pembelajaran dan pembentukan memori (Kanen et al., 2021; Ubuka, 2021).

Peningkatan kadar serotonin membuat neurotransmitter sangat berperan dalam pembentukan memori. Reseptor 5-HT₁, 5-HT₄, dan 5-HT₆ disalurkan di berbagai daerah otak yang diinervasi oleh neuron

serotonergik yang berasal dari *raphe nuklei* serta berasosiasi dengan proses daya ingat dan memori (Alghadir et al., 2020; Ali et al., 2021; Pourhamzeh et al., 2022; Siotto et al., 2021).

Proyeksi serotonergik berasal dari nukleus raphe nuklei yang terlokalisasi di batang otak, tempat sintesis 5-HT, penyimpanan dan pengambilan kembali terjadi, dan meluas ke hampir semua area otak depan yang terlibat dalam pembelajaran dan memori. 5-HT memberikan pengaruh melalui jalur kolinergik dan glutamatergik atas transfer informasi. Aktivitas proyeksi 5-HT tergantung pada ketersediaan tryptophan (melalui diet), enzim pembatas laju tryptophan hidrosilase, monoamine oxidase, transporter (SERT) dan reseptor 5-HT, yang juga mungkin dipengaruhi oleh memori, penuaan, amnesia dan lupa.

Pentingnya menjaga kadar hormon serotonin di dalam tubuh tetap stabil, tidak berlebihan maupun kekurangan. Kekurangan hormon serotonin juga dapat mengakibatkan beberapa penyakit kejiwaan atau neurologis, seperti depresi, attention-deficit-hyperactivity disorder (ADHD) yang menunjukkan perubahan dalam sinyal serotonergik dan gangguan memori yang menyertainya (Feduccia & Mithoefer, 2018; Waider et al., 2019).

KESIMPULAN

Hormon serotonin ialah salah satu komponen penting dalam proses daya ingat atau memori. Neurotransmitter ini baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam proses penyimpanan memori. Serotonin berinteraksi dengan berbagai jenis reseptor spesifiknya yang dapat mengaktivasi bermacam-macam transduksi sinyal yang berbeda. Sehingga serotonin terlibat dalam proses memori melalui beraneka ragam mekanisme yang berbeda pula, di antaranya dengan meningkatkan pelepasan neurotransmitter lain seperti glutamat, depolarisasi neuron pascasinaps, terlibat dalam proses LTP dan neurogenesis,

dan fasilitasi sinaps. Saran penelitian selanjutnya membahas tentang faktor-faktor yang dapat meningkatkan kadar serotonin dalam batas nilai normal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan pada civitas akademika Fakultas Kedokteran, Universitas Andalas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghadir, A. H., Gabr, S. A., & Iqbal, Z. A. (2020). Effect of gender, physical activity and stress-related hormones on adolescent's academic achievements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph17114143>
- Ali, S. B., Mahmood, K., Saeed, R., Salman, T., Choudhary, M. I., & Haleem, D. J. (2021). Elevated anxiety, hypoactivity, memory deficits, decreases of brain serotonin and 5-HT-1A receptors expression in rats treated with omeprazole. *Toxicological Research*, 37(2). <https://doi.org/10.1007/s43188-020-00060-3>
- Bacqué-cazenave, J., Bharatiya, R., Barrière, G., Delbecque, J. P., Bouguiyou, N., Di Giovanni, G., Cattaert, D., & De Deurwaerdère, P. (2020). Serotonin in animal cognition and behavior. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/ijms21051649>
- Bostancıoğlu, M. (2020). Optogenetic stimulation of serotonin nuclei retrieve the lost memory in Alzheimer's disease. In *Journal of Cellular Physiology* (Vol. 235, Issue 2). <https://doi.org/10.1002/jcp.29077>
- Coray, R., & Quednow, B. B. (2022). The role of serotonin in declarative memory: A systematic review of animal and human research. In *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* (Vol. 139). <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104729>

- Feduccia, A. A., & Mithoefer, M. C. (2018). MDMA-assisted psychotherapy for PTSD: Are memory reconsolidation and fear extinction underlying mechanisms? In *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry* (Vol. 84). <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2018.03.003>
- Forero, A., Ku, H. P., Malpartida, A. B., Wäldchen, S., Alhama-Riba, J., Kulka, C., Aboagye, B., Norton, W. H. J., Young, A. M. J., Ding, Y. Q., Blum, R., Sauer, M., Rivero, O., & Lesch, K. P. (2020). Serotonin (5-HT) neuron-specific inactivation of Cadherin-13 impacts 5-HT system formation and cognitive function. *Neuropharmacology*, *168*. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2020.108018>
- Haleem, D. J., & Mahmood, K. (2021). Brain serotonin in high-fat diet-induced weight gain, anxiety and spatial memory in rats. *Nutritional Neuroscience*, *24*(3). <https://doi.org/10.1080/1028415X.2019.1619983>
- John Jayakumar, J. A. K., & Panicker, M. M. (2021). The roles of serotonin in cell adhesion and migration, and cytoskeletal remodeling. In *Cell Adhesion and Migration* (Vol. 15, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/19336918.2021.1963574>
- Kanen, J. W., Arntz, F. E., Yellowlees, R., Christmas, D. M., Price, A., Apergis-Schoute, A. M., Sahakian, B. J., Cardinal, R. N., & Robbins, T. W. (2021). Effect of Tryptophan Depletion on Conditioned Threat Memory Expression: Role of Intolerance of Uncertainty. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*, *6*(5). <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2020.12.012>
- Kanova, M., & Kohout, P. (2021). Serotonin—its synthesis and roles in the healthy and the critically ill. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/ijms22094837>
- Pourhamzeh, M., Moravej, F. G., Arabi, M., Shahriari, E., Mehrabi, S., Ward, R., Ahadi, R., & Joghataei, M. T. (2022). The Roles of Serotonin in Neuropsychiatric Disorders. In *Cellular and Molecular Neurobiology* (Vol. 42, Issue 6). <https://doi.org/10.1007/s10571-021-01064-9>
- Primadona, E., Pudjonarko, D., Rahmawati, D., Kustiowati, E., Suryawati, H., & Budisulystio, T. (2020). Hubungan Antara Kadar Serotonin Serum dengan Fungsi Kognitif pada Pasien Nyeri Kepala Tipe Tegang Kronis. *Neurona*, *38*(1), 1–7. <https://www.neurona.web.id/paper-detail.do?id=1202>
- Sengupta, A., & Holmes, A. (2019). A Discrete Dorsal Raphe to Basal Amygdala 5-HT Circuit Calibrates Aversive Memory. *Neuron*, *103*(3). <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.05.029>
- Siotto, M., Germanotta, M., Santoro, M., Cipollini, V., Guardati, G., Papadopoulou, D., Bray, E., Mastrosera, A., & Aprile, I. (2021). Serotonin levels and cognitive recovery in patients with subacute stroke after rehabilitation treatment. *Brain Sciences*, *11*(5). <https://doi.org/10.3390/brainsci11050642>
- Ślifirski, G., Król, M., & Turło, J. (2021). 5-HT receptors and the development of new antidepressants. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Issue 16). <https://doi.org/10.3390/ijms22169015>
- Ubuka, T. (2021). *Serotonin*. Handbook of Hormones: Comparative Endocrinology for Basic and Clinical Research. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820649-2.00292-8>

- Vaseghi, S., Arjmandi-Rad, S., Eskandari, M., Ebrahimnejad, M., Kholghi, G., & Zarrindast, M. R. (2022). Modulating role of serotonergic signaling in sleep and memory. In *Pharmacological Reports* (Vol. 74, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s43440-021-00339-8>
- Waider, J., Popp, S., Mlinar, B., Montalbano, A., Bonfiglio, F., Aboagye, B., Thuy, E., Kern, R., Thiel, C., Araragi, N., Svirin, E., Schmitt-Böhrer, A. G., Corradetti, R., Lowry, C. A., & Lesch, K. P. (2019). Serotonin deficiency increases context-dependent fear learning through modulation of hippocampal activity. *Frontiers in Neuroscience*, *13*(APR). <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00245>
- Wu, X., Morishita, W., Beier, K. T., Heifets, B. D., & Malenka, R. C. (2021). 5-HT modulation of a medial septal circuit tunes social memory stability. *Nature*, *599*(7883). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03956-8>
- Yu, W., Yen, Y. C., Lee, Y. H., Tan, S., Xiao, Y., Lokman, H., Ting, A. K. T., Ganegala, H., Kwon, T., Ho, W. K., & Je, H. S. (2019). Prenatal selective serotonin reuptake inhibitor (SSRI) exposure induces working memory and social recognition deficits by disrupting inhibitory synaptic networks in male mice. *Molecular Brain*, *12*(1). <https://doi.org/10.1186/s13041-019-0452-5>